



TITLE:

わが国における窒素・リンの発生源構造と富栄養化の機構に関する基礎的研究( Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

浮田, 正夫

---

CITATION:

浮田, 正夫. わが国における窒素・リンの発生源構造と富栄養化の機構に関する基礎的研究. 京都大学, 1983, 工学博士

ISSUE DATE:

1983-01-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r4858>

RIGHT:

新 制
工
556
京大附図

わが国における窒素・リンの発生源構造と  
富栄養化の機構に関する基礎的研究

昭和57年3月

浮 田 正 夫

わが国における窒素・リンの発生源構造と  
富栄養化の機構に関する基礎的研究

昭和 57 年 3 月

浮 田 正 夫





# 目 次

## 第Ⅰ部 緒 論

第1章	緒言（研究の背景，目的，特色）	1
第2章	本論文の構成	3
第3章	N，Pと富栄養化について	4
第4章	N，Pの分析方法について	5

## 第Ⅱ部 N，P発生源に関する研究

第1章	概 説	7
第2章	生態学的にみたN，P発生源の構造	9
2・1	はじめに	9
2・2	計算の方法および結果	9
2・3	考 察	27
第3章	N，P負荷原単位の精度向上に関する研究	29
3・1	はじめに	29
3・2	生活下水のN，P負荷原単位	29
3・2・1	研究目的	29
3・2・2	研究方法	29
3・2・3	研究結果	30
3・2・4	研究結果の考察	40
3・3	工業排水のN，P負荷原単位	42
3・3・1	研究目的	42
3・3・2	研究方法	42
3・3・3	研究結果	42
3・3・4	研究結果の考察	59
3・4	農業排水のN，P負荷原単位	61
3・4・1	研究目的	61
3・4・2	研究方法	61
3・4・3	研究結果および考察	61
(1)	農地排水に対する考え方	61

	(2) 農地排水負荷の調査報告例 .....	64
	(3) 厚東川中流域における水田の表面流出負荷量調査 .....	65
	(4) 農業排水のN, P排出負荷原単位 .....	70
	(5) 農業技術の近代化による排出負荷原単位の変化 .....	73
3・5	負荷量計算に関するまとめ .....	80
	(1) 実測法と原単位計算法 .....	80
	(2) 原単位計算の手順 .....	81
	(3) N, P負荷量計算方法の今後の課題 .....	81
第4章	河川の汚濁負荷流達率に関する研究 .....	82
4・1	はじめに .....	82
4・2	流達率の定義と問題点 .....	82
4・3	流達率調査報告例 .....	85
4・4	塩田川におけるN, P流出率調査 .....	87
4・5	大河川における流達率調査 .....	94
4・6	小河川における晴天時流出率調査 .....	106
4・7	流達率に関する研究成果の要約 .....	109
第5章	大気経由のN, P負荷について .....	110
5・1	はじめに .....	110
5・2	研究方法 .....	110
5・3	研究結果および考察 .....	110
第6章	第Ⅱ部の総括(N, P発生源に関する研究成果のまとめ) .....	115
第Ⅲ部	富栄養水域におけるN, Pの挙動と水質予測に関する研究	
第1章	概 説 .....	117
1・1	はじめに .....	117
1・2	富栄養化の概念 .....	117
第2章	富栄養水域における底質評価に関する研究 .....	121
2・1	水質評価における底質評価の意義 .....	121
2・2	研究目的および方法 .....	122
2・3	研究結果 .....	123
2・3・1	N, P溶出に関連する底質指標について .....	123
2・3・2	N, P溶出速度の測定 .....	125

2・3・3	補給拡散溶出モデル	128
2・3・4	底質の鉛直分布構造と生物分解機構	135
2・3・5	水・底泥間におけるNの挙動シミュレーション	141
2・4	富栄養水域における底質評価のまとめ	144
第3章	富栄養水域におけるCOD内部生産の評価	145
3・1	水質予測における内部生産評価の意義	145
3・2	研究目的および方法	145
3・3	研究結果	145
3・3・1	換算係数に関する検討	145
3・3・2	$\Delta$ COD法について	147
3・3・3	COD内部生産速度の測定法	151
3・4	富栄養水域における内部生産評価のまとめ	157
第4章	富栄養水域における水質シミュレーション	158
4・1	ボックスモデル法の適用	158
4・2	$\Delta$ COD法ボックスモデルシミュレーション	159
4・3	生産関数法ボックスモデルシミュレーション	167
4・4	Nボックスモデル水・底質予測	168
第5章	第Ⅲ部の総括（富栄養水域におけるN、Pの挙動に関する研究成果のまとめ）	174
第Ⅳ部	富栄養化制御の目標設定とその対策に関する研究	
第1章	概 説	176
第2章	富栄養化制御の目標設定	176
2・1	研究目的	176
2・2	研究方法	177
2・3	研究結果	179
(1)	水産統計解析結果	179
(2)	漁民アンケート調査結果	181
(3)	市民アンケート調査結果	182
(4)	瀬戸内海の水質目標	183
2・4	環境基準に関する2、3の考察	183
第3章	総量規制負荷配分の合理化	185

3・1	研究目的	185
3・2	研究方法	185
3・3	研究結果	185
(1)	努力度指標	185
(2)	工場群へのCOD削減負荷の配分	186
(3)	工場群と生活下水関係の努力度指標の比較	191
3・4	総量規制の合理化の問題点と今後の方向性について	191
第4章	富栄養化制御の基本的対策	194
4・1	研究目的	194
4・2	研究方法	194
4・3	研究結果および考察	194
4・3・1	富栄養化制御対策のフレーム	194
4・3・2	汚泥の農地還元についてーその技術的側面ー	198
4・3・3	汚泥の農地還元についてーその社会的側面ー	203
第5章	第IV部の総括（富栄養化の目標設定とその対策に関する研究成果のまとめ）	206
第V部	結 論	
第1章	本研究の主要な成果	207
1・1	N, P発生源に関する研究における主要な成果	207
1・2	富栄養水域におけるN, Pの挙動と水質予測に関する研究の主要な成果	209
1・3	富栄養化の制御の目標設定とその対策に関する研究の主要な成果	211
第2章	研究の今後の課題と方向性について	213
第3章	謝 辞	214
参 考 文 献		215～221
卷 末 資 料		222～242

# 第 I 部 緒 論

## I - 1 緒 言

### 1・1 研究の背景

水域の富栄養化が水質汚濁研究の主要課題の一つとして注目を集めてから、すでに20年以上が経過している。この間に衛生工学、海洋学、陸水学、水産学、農学、化学などの各分野で多くの研究がなされ、かなりの実態が明らかになってきた。また現実の要請からすでに行政レベルでの対応策も実行されつつある。

しかしながら、負荷流出機構、底質予測、赤潮発生機構など、まだまだ未解明の重要な課題も多く残されている。とくに個々の部分の情報を総合評価して、合理的な対策をひき出すといった研究はこの分野でも非常に遅れていると言わざるをえない。

### 1・2 研究の目的

本研究は富栄養化の原因物質として、窒素(N)、リン(P)をとり上げ、その動きを発生源から植物プランクトン、魚類に至るまで追跡することにより、「富栄養化とは何か、どうすればよいのか」といった大きな命題に対して解答することを目的としている。

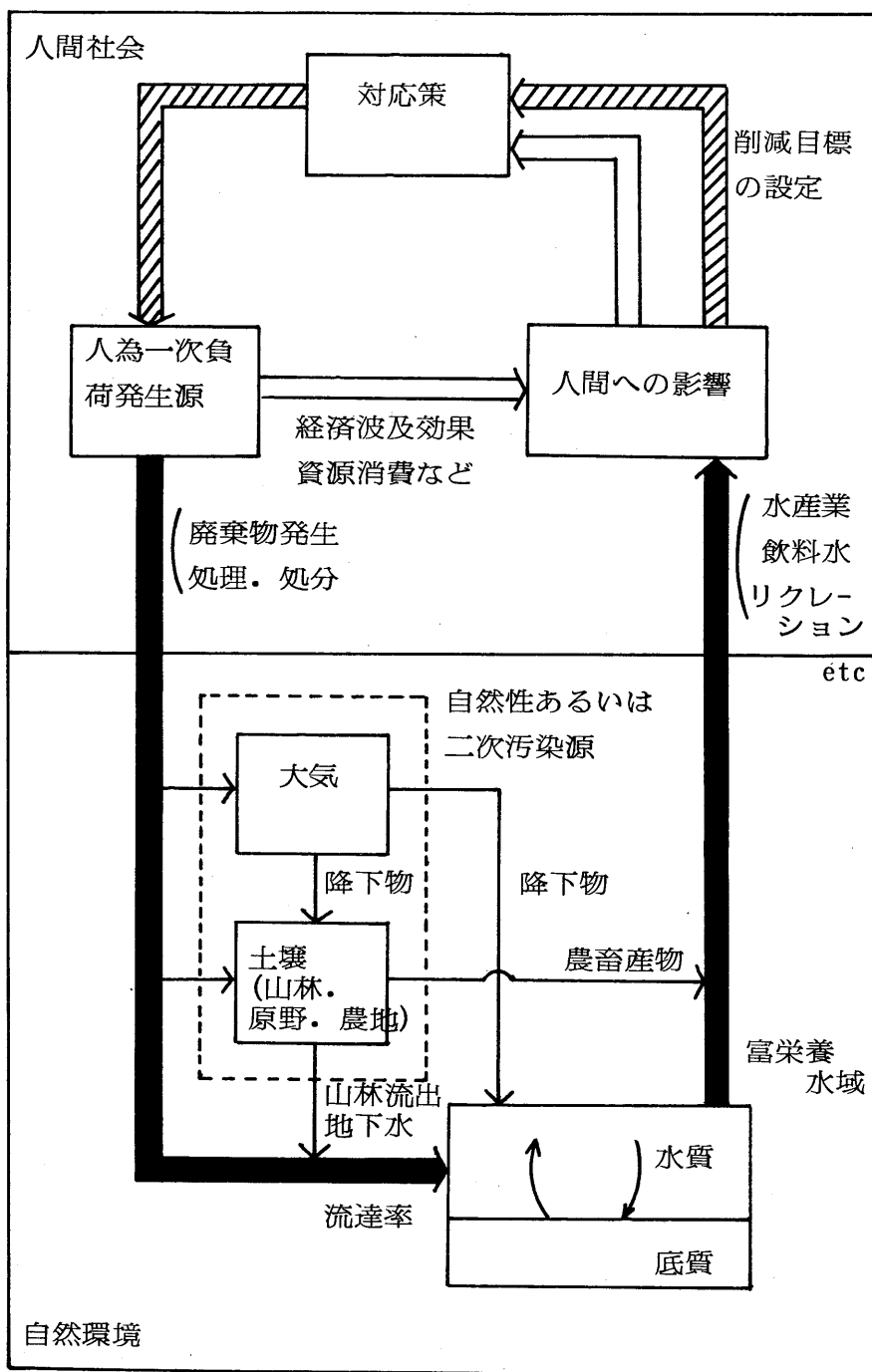
現在までに一応の成果は得られたが、その目的を全うするまでには至っていない。一般に総合評価というものは容易ではなく、細分化された分析的科学に比べて非常に遅れているのが現状である。

### 1・3 研究の特色

本研究は研究目標を大きく設定したために研究対象が非常に広範囲にわたっている。またその対象が実社会や自然環境であり、平均的な実態をとらえるには非常に多くの実測や資料収集の必要があり、多大の労力を要した。

本論文をまとめるにあたっては、特に3つの点で躊躇するところがあった。その第1は、1人の人間がこのような総合評価を試みる場合、内容が多岐にわたるので、細部にまで手が届かないということである。この点に関しては、1人がかなり広い範囲をまとめることで、各部分の整合性や有機的なつながりがよくなるというような、各専門家の寄せ集めでは得られない特長も出すことができるであろう。また総合評価は衛生工学の重要な使命の一つであり、その方法論の確立のためにはなおいろいろな角度からの検討、摸索が必要である。このような理由で一応は先に示したような大きな研究目的を掲げることにしたわけである。

第2の点は、研究対象が広範なために情報量が膨大となり、さらに総合評価を目指すかぎりにおいて、自分で得た情報以外に不足するものは文献情報から補充してその空白を埋



図I-1 富栄養化の総合評価概念図

めなければならず、情報量を増加させる。しかも個々の情報密度は必ずしも高くはない。

この点については、論文をまとめるにあたり、現在までに発表した報文から重要な部分は抜き出して本論文に再掲しあるいは適宜引用することにして簡素化に努めた。

第3の点は、研究の性格上、従来の工学論文に比較して数学的な取り扱いが少ないということである。今後の研究の進展過程で、個々の部分のより定量的な評価、総合評価が行われ、種々の解析理論が展開されることを期待している。

これらの諸点は本研究の性格上いずれもやむを得ないことである。総合評価の完成にはなお多くの時間を要することは自明であるが、研究の第1段階としてとりあえずここで区切りをつけ論文としてまとめることにした。

## I - 2 本論文の構成

第I部は緒論および総論であり、前章では本研究の目的、特徴などについて述べた。次章以降では富栄養化の主たる原因物質として、N、Pをとりあげた理由、N、P分析方法に関する知見などについて述べる。

第II部以降が本論となるが、本研究の対象範囲をここで概念図として表わすと、図I-1のごとくになる。一般に公害問題の発生から解決に至るまでの過程は次の4段階を経ると考えられる。すなわち

i) 原因の発生 ii) 自然環境中の移行・変化過程 iii) 影響(被害)の発現 iv) 合理的な対策の立案と対策実施効果の検証である。

したがって、公害問題に係る研究も、これらそれぞれの段階についてなされる必要があり、研究が公害の解決を目的とすべきものであれば、i) からiv) の段階にまで至って、始めて研究が完成するといえる。

富栄養化は人間の生き方と非常に密接な関係をもった複雑な現象であり、単純に公害とわりきれぬところに面白さがあるわけであるが、本研究においては一応この構成に沿うようにつとめた。

第II部のII-2章、II-3章がN、Pの人為的一次発生源に関する研究である。本研究においては、近年の富栄養化の急激な進行は人為的なインパクトに原因をもつものとの認識から、人為性と自然性の区分を明確にして、とくに人為的一次発生源の研究に重点をおいた。いわば人間社会の中のN、Pの挙動を明らかにしようとしたもので、上述のi) の段階に対応する。

第II部第4章から第5章および第III部が自然環境中のN、Pの挙動に関する研究であり、先のii) の段階に対応する。河川の流達率調査、大気経由のN、P負荷、富栄養水域における底質の評価、底質の影響と内部生産を考慮に入れた水質予測などについてまとめた。

第 iii), iv) の段階の富栄養化防止対策に関する研究はまだ緒についたばかりで、十分な成果の蓄積がないので、第 IV 部でまとめて記述することにした。

なお図、表、参考文献は章ごとにまとめて整理した。

## I - 3 N, P と富栄養化について

**3・1 富栄養化の定義** 富栄養化という言葉はすでに一般化され、社会的にもかなり浸透してきている。その学問的な定義については、第 III 部第 1 章において詳しく述べているが、一般には停滞性のつよい湖や内湾、内海などにおける栄養過多とそれによる植物プランクトンの過繁茂に伴う水質汚濁の現象に対して富栄養化という言葉が用いられている。

しかしながら、著者は、図 I - 1 に示すごとく富栄養化の現象は水域に限らず、陸域においても、雑草の過繁茂、森林における松枯れなどの形で認めることができ、ひいては、飽食、肥満などの現代病との関連なども考えるべきではないかという考えをもっている。富栄養化の総合評価にはこれらの問題も、将来においては考慮に入れられるべきであろうが、本論文では一般的な意味での、水域の富栄養化に関する議論にとどまっている。

### 3・2 N, P と富栄養化について

植物プランクトンの増殖に対しては、プランクトン体を構成する全ての必須元素の濃度などの化学的条件の他に、温度、光などの物理的条件も制限因子となりうる。我国の内海では、冬から春の低温期には富栄養化の影響はあまり大きくなく、酷しい形で被害が現われて、実際に問題になるのは夏から秋の高温期である。化学的条件に限った場合は、実際に制限因子となりやすい物質として、N, P, C, Fe, Mn, ビタミン類などが考えられている。ことに赤潮プランクトンの大増殖を問題にする場合には、N, P 以外の種々の増殖因子が重要であるとされている。<sup>1)</sup>

しかし Fe や Mn などは条件によっては底質から豊富に供給されるし、ビタミン類はそれらの要求性のない種もあり、また底泥中の微性物などからも供給される。現状では、N, P がもっとも一般的な制限因子であり、富栄養化の素地を形成するものであるとの見方がほぼ世界的に定着している。<sup>2)</sup> 赤潮の発生に対しても、N, P の過負荷は必要十分条件であるとは言えないとしても、必要条件であることには間違いない。

N, P のうち、どちらがより重要であるかは議論の多いところであるが、富栄養化の初動因子としては P, かなり富栄養化が進行した水域では N が制限的となる傾向がある。<sup>3)</sup> さらに CO<sub>2</sub> や<sup>4)</sup> 有機栄養物質が富栄養レベルを高めている場合もあると考えられ、瀬戸内海の COD 削減によって、付随的に富栄養化の改善がみられたところもある。

もともと、BOD や COD による汚濁も広い意味で富栄養化であるとも考えられ、陸水



学においては、これを外来性の (Allochthonous) 富栄養、通常のそれを内来性の (Autochthonous) の富栄養と区別している。第Ⅲ部、第Ⅳ部では、N、PとCOD、BODとの関連に論及しなければならないので、本研究では、N、Pを主体として、COD等については、必要に応じて触れることとした。

N、Pを同時に取り扱った研究は意外にあまり多くないようであるが、両者を同時に扱うことで現象の理解を助けることが多かった。同じような理由で、保存性の塩素イオンを取り上げた部分もいくらかある。なお一口にN、Pと言っても、その存在形態は様々で、水産学の分野では無機態のN、Pを問題にすることが多く、実際、水域の精度の高い水質予測においては、有機、無機、アンモニア性、硝酸性N、難溶性N、Pなどの区分が必要になってくると思われる。しかしそれに先立って、まず全N、全Pとして物質収支をとり、その枠組みを明らかにする必要がある。したがって本研究では分析は各態N、Pについて分別して行ったが、負荷の議論やその他の解析は、主に全窒素TN (ケルダール窒素 Kj-N と硝酸性および亜硝酸性窒素  $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$  の合計) と全リンTPについて行った。

## I-4 N、Pの分析方法について

本研究では、N、Pの動きを追跡するために、数多くの試料のN、P分析を行った。ここでは、本研究を遂行するにあたっての分析に対する考え方、分析方法の概要、経験的に得られた分析上の注意点などについて述べる。なお別に報告<sup>5)</sup>もまとめている。

**4・1 本研究における分析に対する考え方** 本研究ではN、Pの挙動を明らかにすること、すなわちN、Pのフラックス (面積あたりの移動量) あるいは負荷量 (濃度×流量) としての評価に重点があるため、たとえば濃度だけいくら精度を上げて分析しても、流量の方の精度がそれに伴わなければ負荷量の精度は上がらない。さらに環境中のN、Pの挙動を平均的にとらえようとした場合には、その動きは時間的、空間的に極めて不均一であるので、ある場所、ある瞬間の負荷量をいくら精度を上げて測定しても、平均的な移動速度を推定する際の精度は全く保証のかぎりではない。したがって労力や費用が限定される場合、精度の高い数少ないデータよりも、厳密な精度はなくても数多いデータをとることの方がより研究の目的にかなったやり方であると思われる。そのために

i) 分析法はできるだけ簡便で、手軽にやれるものであることが必要で、本研究では必ずしも公定法にはとらわれず、適宜改良を加えた方法を用いた。また内海の富栄養化を扱った関係上、海水を含んだ水質分析を行うことが多かったが、たとえば、工場排水試験方法 JIS法では、海水を含んだ試料にそのまま適用すると、分析反応液の沈殿によるにがり、塩素イオンによる酸化反応の妨害、煮沸操作時の突沸など実際上の問題点が多く、そのために、ii) 海水混入試料に適した分析方法を工夫した。最後に、本研究は環境汚染防止の

ための研究であるから iii) 分析にともなう廃液や廃棄物はできるだけ少ない方法を選び、また分析液量を縮小して、分析廃液等の少量化に努めた。

4・2 分析方法の概要 研究の途中、逐次上に述べたような分析方法の改変を行ったので、始めから終りまで同一の分析方法にしたがったわけではないが、最終的に著者が現在用いている N、P 分析方法の概要と注意点を表 I-1 にまとめておく。分析操作については別報<sup>5)</sup>に記している。

第 I - 1 N、P 分析方法の概要

測定項目	分析方法	改変点	注意事項
NH <sub>4</sub> -N (アンモニア性窒素)	ガラス繊維濾紙 (watGFC) 濾液につきインドフェノール改変法	試薬濃度をあげて、反応時間を短縮することにより、海水における発色感度を淡水のそれに近づけた。 試水量は 50 ml のところ 10 ml に縮小した。	低濃度希釈水の調製に注意する。 普通濾紙による濾過で、試水の濃度が変化することがあるので、場合によっては濾過せず、静置上清を用いるとよい。
NO <sub>2</sub> 、 <sub>3</sub> -N (硝酸性および亜硝酸性窒素)	ガラス繊維濾紙、濾液につき、Mullin Riley 法 (フェニルヒドラジン法)	食塩を添加して、試水の塩素イオン濃度を 16~19 % に調整する。 NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N の分別は行わず、両者の発色感度を同じとみて、NO <sub>3</sub> -N の検量線より、濃度を求める。 試水量は 50 ml のところ 10 ml に縮小した。	低濃度希釈水の調整に注意する。 ガスの燃焼などによる空気からの汚染に注意する。 海水の分析には、海水ベースの検量線を用いる。
Kj-N (ケルダール窒素)	(低濃度水試料) ケルダール法新法 SeO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> による分解後、分解液を直接中和後、インドフェノール改変法	分解液を中和後、直接 NH <sub>4</sub> -N の比色を行う。 中和指示薬：フェノールフタレインを用いる。 試水；海水の場合 30 ml 程度発色；中和解液を 50 ml、定容後、10 ml。	硫酸の汚染に細心の注意が必要である。 分解途中の空気からの汚染にも注意する。 海水の場合は突沸に十分注意する。
	(高濃度水試料、底泥など) ケルダール法常法 CuSO <sub>4</sub> 、K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> による分解後、(直接) 蒸留、滴定法	常法通り。但し、分解液を 500 ml 定容後、その 50 ml は TP の分析用に供する。	NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N の共存は負の誤差を与える。
PO <sub>4</sub> -P (リン酸性リン)	ガラス繊維濾紙あるいは、NO <sub>5</sub> C 普通濾紙による濾液につき、アスコルビン酸還元によるモリブデン青法。	反応液の縮小以外、常法通り。 試水量は 7.2 ml、試薬添加後 10 ml。	試験管の汚染に注意する。
TP (全リン)	(低濃度水試料) 過硫酸カリ分解後、中和、アスコルビン酸-モリブデン青法。	常法通り。 下水試料などは、30 ml 容ケルダール分解びんで砂浴上で分解する。	分解に用いる三角フラスコ (300 ml) 発色に用いるメスフラスコ (50 ml) の汚染に注意する。 海水の場合、分解時、有毒ガスの発生、突沸に注意する。またメスフラスコに移す際、にごりは完全に溶解させる。

## 第 II 部 N, P 発生源に関する研究

### II - 1 概 説

#### 1・1 研究目的および第 II 部の構成

発生源に関する研究の意義は次の三点である。

- i) 富栄養化の根本原因を考え、対策の基本方向を明らかにする。
- ii) 各発生源について、汚濁物質の発生・排出の機構を検討して、効率的な改善の具体策を提言する。
- iii) 水質管理モデルの一環として、水質予測に必要な精度をもった、水域流入負荷量の算定方法を確立する。

まず次の II - 2 章では、i の立場から、我国における N, P 動態図を明らかにすることにより、富栄養化の根本原因と根本的な対策について考察を行った。

II - 3 章では主として iii の立場から、それぞれ生活下水、工場排水、農業排水その他の N, P 発生源につき、物質収支法を利用して、精度の高い負荷原単位を設定する方法について述べる。

II - 4 章は、N, P が水域に排出されて後、水路、河川等を経て、どの程度当該富栄養水域に到達するか、いわゆる流達率に関する研究である。流入負荷の算定精度にはこの流達率の信頼精度が大きく影響するので、数河川について数多い実測を行って、流達率を求め、モデル化の検討を行った。II - 5 章では大気経由の N, P 負荷について述べた。

II - 6 章は第 II 部の成果のまとめである。

#### 1・2 物質収支法の有効性について

本研究の一貫した特色の一つは物質収支法を重視していることであり、とくに N, P は BOD などと異って元素として追跡することが可能で比較的容易に物質収支がとれる利点がある。いま工場を例にとってみれば、原材料中の N, P の行方は図 II 1 のようになるが、排出負荷原単位設定にあたっては、排水の負荷実測値から単純に算出する方法では精度の面で問題があり、工場への入と出、出の内訳それぞれについて、N, P の動きを明らかにした上で、全体の整合性をみながら行う必要がある。

その理由は以下のような点にある。

- i) 排水の実測値には通常大きな変動性があり、重大な測定もれがある場合もある。物質収支法によれば少なくとも、排水損失量の上限を知ることができる。
- ii) 排水、排気、廃棄物の間には互換性があり、排気や廃棄物中の N, P も水環境に影響を与える可能性がある。

iii) 排気などの直接測定困難な量を間接的に推定できる。

iv) 過去や将来の原単位により合理的な推定が可能である。

v) 適切な改善対策を考える上で、このような検討は不可欠である。

精度の高い負荷原単位の設定のためには、物質収支法を利用して、変動性の大きい実測の欠点を補っていく方法が非常に有効であり、内容を知らないまま、出口の排水の実測のみを行って、原単位を求めることは、測定頻度が十分なものでない限り危険である。

物質収支的なものの見方の重要性は、負荷発生の段階のみではなく、処理施設の排出率を求める場合や環境水中のN、Pの挙動を考える場合についてもあてはまることである。

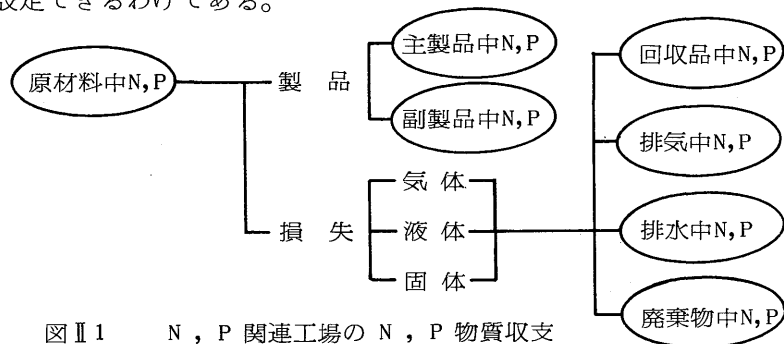
### 1・3 物質収支法の概要

N、Pは生物体の重要な構成元素であるから、自然界に広く存在し、したがってその発生源も多種多様である。しかし、現在の富栄養化の急激な進行は明らかに人為的な原因に帰すると考えられるので、物質収支法の適用にあたっては人為的なN、P発生源に焦点をあて、食飼料中のN、P、石油、石炭中のN、Pあるいは工業固定されたアンモニアNやリン鉱石由来のPを出発として追跡していけばよい。

具体的な方法については次章以下に述べるが、基本は以下に述べるようなものである。

i) 全国レベルから小は各家庭や各工程レベルに至るまで、色々な場におけるN、Pの生産、消費、廃棄等の動きを各種統計や文献を活用して明らかにする。情報の十分でない部分については適宜実態調査を行う。物質収支の各部分量を知るには実測が必要であることはいうまでもないが、食品供給量、製品生産量、原材料使用量等については統計類もよく整備されており、また食品や各種製品等のN、P含量も食品成分表、化学便覧その他の専門書などから知ることができ、実測を行わなくてもよい部分も多い。

ii) 次に、生産量や消費量の入力に対して、適当な方法で求めた排出率を乗じて、発生負荷ないし排出負荷が計算される。もしこれらの計算が全国統計によってなされるならば、これらの全国負荷量を全国の人口、あるいは製造品出荷額等で除せば、全国平均の負荷原単位が設定できるわけである。



図Ⅱ1 N、P関連工場のN、P物質収支

## Ⅱ - 2 生態学的にみたN, P発生源の構造

### 2・1 はじめに

著者らは先に、昭和44年における全国のN, Pの水域影響量（排出量）の試算を行い、それぞれ88%, 67%は人間の食生活とそれを支える肥料に関するものであることを指摘した。<sup>1)</sup> 富栄養化の現象は非常に生態学的な問題であると考えられ、その根本的な理解のためにはそのような見方が必要であると思われる。そこで本章においては、諸統計類、成分表、その他種々の文献、必要な時には実地に調査して、昭和45年におけるわが国の食料を中心としたN, Pの動態図を作成し、富栄養化対策との関連を論述した。なお、本章は大部分、第2回環境問題シンポジウムでの発表<sup>2)</sup>によっているが、その後の研究によって、若干の修正、改良を加えたものである。

食料供給量、肥料使用量など主要な点では、ここ数年あまり大きな変化はないと考えられるので、本章の記述はほぼ現在にもあてはまるものである。

**2・2 計算の方法および結果** 用いた統計類は昭和45年度のものである。ただし、化学肥料のみは肥料年度（昭和45年7月から翌6月まで）である。

(1) 食料農産物中のN, P 国内産食料農産物中のN, P量は農林水産統計中の生産量、食品成分表<sup>4)</sup>のN, P含量より計算した。輸入量（便宜上、輸出量を差し引いた正味輸入量とし、以下この意で用いる。）中のN, P量の計算には麦、大豆については食料需給表<sup>5)</sup>の統計を、その他については文献3)の統計を用いた。穀類、みかん、バナナ以外は廃棄部分中のN, P量の計算は表Ⅱ2-1の部門別に集計した値につき、食料需給表同部門の歩留り（イモ類～果実）あるいは食品成分表より推定した廃棄率（茶・木の実など）を用いた。但し穀類については部門内の各品目について計算した結果を合計してまとめた。

(2) 水産物中のN, P 計算には文献3)の漁獲量、輸出入量、文献4)のN, P含量を用いた。廃棄部分のうちわけを求めるためには、文献4)の廃棄率の値と一般的な5種の魚について実際に分析して求めた可食部分と魚全体のN, P濃度比を用いて計算した。

表Ⅱ2-2に分析結果を、表Ⅱ2-3に計算結果の総括表を示した。なお総水揚量、277千t N, 24.4千t Pのうち、近海よりの水揚は175千t N, 15.4千t Pである。

(3) 粗飼料中のN, P 収穫量は文献3)記載のものはその値を、その他は文献6)等から飼料作物作付面積とhaあたりの収量から計算したものをを用いた。N, P含量は飼料成分表<sup>7)</sup>の値を用いた。結果は表Ⅱ2-4にまとめた。

(4) 濃厚飼料中のN, P 国内消費量、輸入量は飼料便覧<sup>8)</sup>の主要濃厚飼料供給量の統

表Ⅱ2-1 農産物中のN, P (昭和45年)

	収穫量 (千t)	正味 輸入量 (千t)	収穫量 (千t)		正味輸入量 (千t)		廃棄部分 (千t)	
			N	P	N	P	N	P
穀類(米・麦)	13,796	5,125	179	41.8	106	18.4	51	27.6
(雑穀)	63	9,898	1	0.2	151	28.0		
豆類	504	3,477	22	2.0	204	16.2	4	0.4
イモ類	6,173	-6	17	2.6			1	0.2
野菜類	15,419		39	5.3			7	0.8
果物類	5,459	969	7	0.8	2	0.3	4	0.5
茶	91		5	0.3			7	0.2
林産食品その他	76		0	0.1				
工芸作物(食料関係)	3,172	482	7	1.1	42	6.5	43	6.7
合計	44,753	19,945	277	54.1	505	69.0	114	36.4

- 1) 牧草等粗飼料, 桑など食料以外の工芸作物は、この表に計上していない。  
 2) 油粕量に換算した植物油脂原料の輸入で、大豆・米ヌカは除く。また油粕そのものの輸入は別途計上している。 3) 廃棄部分は、輸入由来分も含む。国内発生量であるが、農場で発生する収穫残査は別途計上している。

表Ⅱ2-2 魚体の分析結果

	N (g/100g)			P (mg/100g)		
	a全体	b可食部	a/b	a全体	b可食部	a/b
アジ	3.07	3.20	0.96	256	200	1.28
ハマチ	3.06	3.36	0.91	235	220	1.07
カレイ	3.18	3.60	0.88	177	151	1.17
サバ	2.55	2.88	0.89	239	190	1.26
サワラ	2.24	2.98	0.75	269	210	1.28
平均			0.88			1.21

表Ⅱ2-3 水産物中のN, P (昭和45年千t)

			水揚量	水揚全量 (千t)		うち廃棄部分 (千t)		備 考
			(千t)	N	P	N	P	
国内 生産	海面漁獲	魚 類	7,245	213.4	18.59	85.2	10.42	*△キ身重量
		貝 類	66*	1.6	0.11	0.0	0.00	
		イカ,タコ	818	54.5	4.81	11.0	1.00	
		エビ,カニ	253	6.4	0.33	0.4	0.08	
		くじら	210*	0.6	0.07	0.0	0.00	
		海草類						*生重量
		小 計	8,592	276.5	23.91	96.2	11.45	
		浅 海 養 殖	259	3.6	0.30	0.0	0.08	貝△キ身,海草 生重量
	内 水 面 漁 獲	39	1.0	0.09	0.2	0.03		
	内 水 面 養 殖	45	1.3	0.10	0.4	0.04		
国 内 生 産 計			8,928	282.4	24.40	97.8	11.66	
輸入ー輸出 (加工品の一部 別途計上)			103	0.7	0.07	0.5	0.01	

表Ⅱ 2-5 濃 厚 飼 料 中 の N , P

飼 料	輸入量 (千t)	消費量 (千t)	含 量 (%)		輸入量 (千t)		消費量 (千t)		備 考
			N	P	N	P	N	P	
とうもろこし	4,417	4,440	1.44	0.27	61.84	11.93	63.94	11.99	a) 47p 飼料便覧 8)
ことうりやん	3,990	3,990	1.68	0.31	67.83	12.37	67.83	12.37	
小 麦	136	190	2.02	0.39	2.75	0.53	3.85	0.74	
大 麦	773	828	1.98	0.42	15.46	3.25	16.56	3.48	
米		274	1.23	0.30			3.38	0.67	b) 18p 食料需給表 5)
裸 麦		34	1.78	(0.40)			0.61	0.14	
ライ麦	89	89	2.07	0.34	1.87	0.30	1.87	0.30	a) 50p
エン麦	161	161	2.05	0.35	3.38	0.56	3.38	0.56	
ア ウ		3	1.52	0.28			0.05	0.01	c) 209p ポケット 農林水産統計 3)
ヒ エ		9	1.84	(0.30)			0.16	0.03	
キ ビ		1	1.89	(0.30)			0.02	0.00	
その他の穀類		328*	(1.76)	(0.30)			5.77	0.98	*a) 47p その他穀類より 米〜キビを差しひく
ふすま ◎	958	1,806	2.24	1.17	↑21.08 (36.0)	↑11.21 (19.1)	39.73	21.13	a) 47p ( ) は輸入小麦 由来分を考えた
米ぬか ◎	5	588	2.23	1.82	↑ 0.11	↑ 0.09	12.94	10.70	
大・裸麦ぬか◎		97	2.33	0.19			2.23	0.18	
脱脂米ぬか ◎		421	2.67	1.48			11.37	6.23	c) 209p
その他の糠類◎	(204)	950)*							*a) 47p その他糠類より 脱脂米糠をひく
カンショ デンプン粕		48*	0.43	0			0.19	-	* デンプン用イモ消費 の5%
パレイショ デンプン粕		82*	0.78	0.20			0.66	0.16	* 同じく 6% b) 18p
ビートパルプ	118	118	1.20	0.10	↑ 1.42	↑ 0.12	1.42	0.12	a) 50p
その他の糠類	86	700	(1.60)	(0.50)	↑ 1.38	↑ 0.43	11.20	3.50	
大豆油かす	60 (1533)	1,590	7.89	0.67	↑ 4.74 (121.11)	↑ 0.40 (10.27)	125.61	10.65	a) 47p ( ) は原料大豆の 輸入を考えた
落花生油かす	156	156	8.49	0.65	↑13.26	↑ 1.01	13.26	1.01	a) 50p
綿実油かす	14	14	7.41	1.10	↑ 1.04	↑ 0.15	1.04	0.15	
その他の 植物油かす◎	149	528	7.69	0.86	↑11.45 (40.58)	↑ 1.28 (4.52)	40.58	4.52	a) 47p その他植物油粕よ り、落花生・綿実油粕 を差しひく。( ) は 油脂原料の輸入を考 えた。
大 豆	10	10	6.49	0.59	0.65	0.07	0.65	0.07	b) 18p
その他の豆		38	3.86	0.40			1.50	0.15	
カンショ		781	0.22	0.065			1.46	0.51	
パレイショ		396	0.30	0.042			1.19	0.17	
魚粕・魚粉 ◎	81	504	9.60	2.50	↑ 7.80	↑ 2.00	48.40 (22.4)	12.60 (3.9)	a) 47p ( ) 可食部由来 分を差しひく
肉骨粉 ◎	66	66	9.60	2.50	↑ 6.34	↑ 1.65	6.34	1.65	a) 51p
フェザーミール	49	49	13.60	0.35	↑ 6.66	↑ 0.17	6.66	0.17	
FS吸着飼料 ◎		95	6.72	2.80			6.37	2.66	a) 66p
脱脂粉乳	47	47	5.60	1.04	↑ 2.59	↑ 0.49	2.59	0.49	a) 51p
牛 脂	55	55	0.05	-	↑ 0.03	-	0.03	-	b) 18p
アルファルファ ペレット	491	491	2.35	0.32	↑11.54	↑ 1.57	11.54	1.57	a) 49p
糖 密 ◎	295	329	0.51	0.07	↑ 1.51	↑ 0.21	1.68	0.23	b) 18p
合 計	直接飼料として輸入された不可食部由来飼料* 輸入原料に由来する飼料を含める。 濃厚飼料国内消費量 合計 国内上場より産出される不可食部由来飼料 ** 同 上 大豆粕・魚粉 (可食部) を含める。				91.00 (404)	20.78 (70.5)	516 106 253	110.0 38.0 57.0	大豆粕・ふすまなど
備 考	* ↑ を付した数値を合計した。 ** ◎ を付した項につき、(消費量-輸入量)を合計した。大豆粕および魚粉の一部は可食のためこの合計 には入っていない。								

表Ⅱ2-4 粗飼料中のN, P量

	栽培面積 収量		収穫量 * **		含 量 (%)		収穫量 (千t)	
	(千ha)	(t/ha)	(百万t)		N	P	N	P
牧 草	473	28.0	13.20	17.50	0.54	0.13	94.50	22.75
レンゲ	46	25.8	1.18	1.22	0.40	(0.05)	4.86	0.61
青刈トウモロコシ	77	38.7	1.97		0.40	0.07	7.88	1.38
青刈エンバク	29	23.9	0.69		0.62	0.08	4.25	0.55
青刈ライ麦	7.8	24.3	0.19		0.75	0.09	1.43	0.17
青刈大豆	0.9 (25)		0.02		0.61	0.12	0.13	0.03
飼料用カブ	14.8	31.1	0.46	0.59	0.18	0.02	1.06	0.12
家畜ビート	4.5 (30)		0.14	0.14	0.19	0.03	0.26	0.04
青刈ナタネ	0.4 (25)		0.01		0.7	0.08	0.06	0.01
青刈その他	1.2 (25)		0.03		0.7	0.08	0.21	0.02
その他	12.5 (25)		0.31		0.7	0.08	2.17	0.25
計	667			22.67			116.8	25.92

\* 「自給飼料の生産と利用」 24p 地球出版 (1968)

\*\* 3) 269p ( ) は推定値

表Ⅱ2-6 畜産物中のN, P量計算手順 (昭和45年)

		と体割合 生産量		含 量 (%)		生産量 (千t)	
		(%)	(千t)	N	P	N	P
牛	枝 肉 (肉)	42.5	220.8	2.9	0.14	6.40	0.31
	枝 肉 (骨)	8.5	44.2	2.8	7.7	1.23	3.40
	頭 部	3.5	18.2	2.8	3.5	0.51	0.64
	生 皮	8.5	44.2	4.2	0.35	1.86	0.15
	血 液	3.25	16.9	1.15	0.013	0.02	0.002
	尾 端	0.25	1.3	7.0	5.0	0.09	0.065
	趾 端	1.45	7.5	12.8	1.84	0.96	0.14
	内 臓	31.5	163.8	2.8	0.27	4.59	0.442
牛と体計						15.7	5.14
豚	枝 肉 (肉)	61.4	606.0	2.29	0.15	13.88	0.909
	枝 肉 (骨)	8.6	84.9	2.8	7.8	2.38	6.62
	頭 部	5.66	55.9	2.8	3.5	1.57	1.957
	生 皮	2.5	24.7	3.3	0.2	0.82	0.049
	血 液	2.56	25.3	1.1	0.1	0.28	0.025
	尾 端	0.01	0.1	3.8	6.0	0.00	0.006
	内臓・脂肪	12.8	126.3	3.0	0.25	3.79	0.316
	豚と体計					22.7	9.88
ブロイラー	枝 肉 (肉)	47	235.5	3.98	0.28	9.37	0.659
	枝 肉 (骨)	25	125.3	2.0	3.0	2.51	3.76
	内 臓	5	25.1	2.82	0.2	0.71	0.05
	羽	6	30.1	13.4	0.35	4.03	0.11
	血 液	3	15.0	1.1	0.05	0.17	0.008
	頭・脚	8	40.1	9.31	2.18	3.73	0.874
	ブロイラーと体計					20.5	5.46
採卵廃鶏	肉		84.6	3.36	0.28	2.84	0.237
	骨		45	2.0	3.0	0.9	1.35
	内 臓		9	2.82	0.2	0.25	0.018
	その他					2.51	0.355
	廃鶏と体計					6.5	1.96
その他の肉 (1.3 不可食部含む)			1.2x1.3	3.25	0.21	0.5	0.03
鶏 卵 (0.9 : 廃棄率)			1730x0.9	2.03	0.23	31.6	3.58
生 乳			5195	0.455	0.09	23.6	4.68



計をもとにした。この統計に「その他」として記載のものは、同文献の輸入統計, 文献3), 5) を参考にしてできるだけ個々の飼料を拾い出した上, それぞれにつき文献7) のN, P含量を乗じて計算した。計算の経過及び結果を表Ⅱ2-5にまとめた。濃厚飼料の総消費量はNで516千t, Pで110千tと集計され, そのうち国内の食品工業等より産出される不可食部由来の飼料は, 表中◎を付した項のうち, 大豆粕の100%と魚粕・魚粉の項から魚粉およびホワイトミールの70% (N 26千t, P 8.7千t) を可食部として除外した合計N 106千t, P 38.0千tと計算される。さらにこれら大豆粕, 魚粉を除外せずに加えると, N 253千t, P 57.0千tとなり, この量が食品加工過程を経由する飼料とみなしてほぼ差しつかえない。実際には小麦やとうもろこしなども配合飼料工場を経る場合が多いが, ここでは上記以外の飼料は食品加工過程を経由せずに直接畜産業に供給されるとして扱った。

(5) 畜産物中のN, P 文献3) の枝肉生産量, 畜産加工に関する文献9), 10) などによる屠体割合と文献4), 7) のN, P含量を用いて計算した。牛, 豚, 鶏などの国内生産量について計算過程を表Ⅱ2-6に, 結果を表Ⅱ2-7にまとめた。なお廃棄部分のN, P量は主に牛, 豚, 鶏からであるが, 肉および内臓のみを可食部として計算した。輸入量は文献5) の統計によったが, 枝肉としての輸入であるから, 枝肉中骨を廃棄部分として計上している。

表Ⅱ2-7a  
畜産物中の N, P (国内産分)

昭和45年	国内生産量(千t)	
	N	P
牛と体	15.7	5.14
豚と体	22.7	9.88
鶏と体	27.0	7.42
その他の肉	0.5	0.03
牛 乳	23.6	4.68
鶏 卵	31.6	3.58
総 計	121.1	30.73
うち廃棄部分	23.5	19.50

表Ⅱ2-7b  
畜産物中の N, P  
(正味輸入分)

昭和45	輸入 量(千t)	含 量 (%)		輸入量 (千t)		うち廃棄部分(千t)		備 考
		N	P	N	P	N	P	
牛枝肉	33	2.9	1.4	0.96	0.462	0.15	0.423	加工品の輸入 は別途計上し ている。
豚枝肉	17	2.35	1.19	0.40	0.202	0.06	0.178	
鶏 肉	11	3.26	1.16	0.36	0.127	0.08	0.108	
その他肉	143	2.5	0.21	3.58	0.300	0.54	0.270	
牛 乳	561	0.455	0.09	2.27	0.449			
鶏 卵	51*	2.03	0.23	1.04	0.117			*廃棄率11%
合 計	816			8.9	1.71	0.8	0.98	

(6) 加工食品中の N, P 食品工業の構造を明らかにすることは重要であるが、資料不足のために困難であるので、国内で消費された加工食品中の N, P 量を計算した。国内消費量は食品工業対策懇談会<sup>11)</sup>の資料にもとづき、N, P 含量は文献 4) によって計算した。輸出入量は文献 12) によった。結果は表Ⅱ 2-8 にまとめた。なお、後の動態図作成の都合上、国内産の畜産食品はすべて、食品加工過程を経由するとして扱うので、前表で加工食品として計上されていない、牛肉、豚肉、とり肉、鶏卵、牛乳の消費量を別に求めておかななくてはならない。これには国民栄養調査の摂取量のデータを用いることにし、輸入牛肉などの分を差しひいて、国内産分の消費量として、N 61 千 t, P 5.3 千 t をえた (表Ⅱ 2-9)。

(7) 有機質肥料中の N, P 肥料として登録されている有機質肥料中の N, P 量を文献 13) の肥料成分表、文献 7) の N, P 含量を用いて計算したところ、表Ⅱ 2-10 のように、N 38.3 千 t, P 14.2 千 t となった。なお実際には統計に上ってきていないが肥料にまわっている廃棄物もいくらか存在すると想像される。

(8) 農場収穫残査中の N, P 表Ⅱ 2-1 に記した廃棄部分は、一応食料ルートに流通したのちに、不可食部分を中心とした損失を計上したものであるが、農産物の場合、この他に、農場で発生する収穫残査の量を考慮する必要がある。肥料年鑑 (1978) では

表Ⅱ 2-8 加工食品中の N, P (千t, 昭和45年)

	国内消費量 (千t)			輸入量 (正味) 千t			
	現物	N	P	現物	N	P	
畜産加工品	3,398	28.6	4.76	71	5.4	0.19	*粗糖が 主体
水産加工品	1,763	60.8	7.08	-241	-7.7	-0.66	
農産加工品	7,224	88.8	7.01	3,794*	10.4	1.17	
調味料	2,735	42.5	3.99	-33	-1.6	-0.02	
酒類	4,899	3.5	0.56				
冷凍食品	141	2.3	0.28				
合計	20,160	227	23.7	3,592	6.5	0.69	

表Ⅱ 2-9 畜産精肉、卵の摂取量 (千t 昭和45年) 加工食品で計上しているものは除く

	摂取量 (千t)	含量 (%)		摂取量 (千t)		輸入分 (可食部)		国内産分の 摂取量		
		N	P	N	P	N	P	N	P	
牛肉	257	2.9	0.14	7.4	0.36	0.8	0.04	6.6	0.32	* 廃棄率 11%
豚肉	572	2.29	0.15	13.1	0.86	0.3	0.02	12.8	0.84	
鶏肉	346	3.98	0.28	13.8	0.97	0.3	0.02	13.5	0.95	
鶏卵	1,551*	2.03	0.23	28.0	3.18			28.0	3.18	
計	2,726			62.3	5.37	1.4	0.08	60.9	5.29	

表Ⅱ2-10 有機質肥料の生産量の生産量 (昭和45 暦年)

普通肥料	大豆粕 なたね油粕 綿実油粕 落花生油粕 アマニ油粕 ごま油粕 ひまし油粕 米糠油粕 その他草本油粕 カボック油粕 やし油粕 きり油粕 燐油粕 アミノ酸副産物 肉粕粉末 肉骨粕 蒸製てい角粉 蒸製てい角骨粉 蒸製毛粉 乾血粉 生骨粉 蒸製骨粉 蒸製皮革粉	生産量 (千t)	含 量 (%) N	P	生産量 (千t) N	P	魚廃物加工 魚 (荒) 粕粉末 魚節煮粕 水産動物質 干蚕踊粉末 蚕踊油粕 絹紡蚕踊粕 魚 粕 水産動物肥料 肉 粕 蒸 製 骨 蒸製てい角 羊毛くず にかわかす カゼイン可ソ物 くず 木の実油糖 蚕 踊 糠 アミノ酸糠 たばこくず粉末 たばこくず	生産量 (千t)	含 量 (%) N	P	生産量 (千t) N	P
		生産量 (千t)	含 量 (%) N	P	生産量 (千t) N	P		生産量 (千t) N	P			
		62.2	7.52	0.77	4.68	0.48		2.02	(7)	(3.93)	0.14	0.08
		201.1	5.06	1.08	10.18	2.17		19.11	(8)	(3.06)	1.53	0.59
		55.7	5.68	1.14	3.16	0.64		1.19	10.8	0.36	0.13	0.00
		0.02	6.55	0.58	—	—		0.42	(6)	(1.3)	0.25	0.01
		0.45	5.07	0.87	0.02	0.01		0.13	7	(1)	0.01	—
		0.14	5.79	1.27	0.01	0.00		1.17	8.72	0.64	0.10	0.01
		28.5	4.98	0.90	1.42	0.26		0.52	7	(1)	0.04	0.01
		9.06	2.14	1.85	0.19	0.17		121.35	(8)	(3.06)	9.71	3.71
		5.93	(5.5)	(1.1)	0.33	0.07	特殊肥料	4.17	(6)	(1.3)	0.25	0.05
		16.2	4.81	0.98	0.78	0.16		0.88	8.2	0.96	0.07	0.08
		0.01	3.14	0.58	—	—		4.57	4.13	9.74	0.19	0.45
		0.00			—	—		0.40	12.8	1.84	0.05	0.01
		0.67	4.1	(0.5)	0.03	0.00		0.98	7.81	0.052	0.08	0.00
		0.56	(6)	(0.5)	0.03	0.00		1.11	6.28	0.38	0.10	0.01
		4.16	8.2	0.96	0.34	0.04		1.04	4.5	—	0.05	—
		10.57	9.6	2.5	1.02	0.26		18.80	2.03	0.10	0.38	0.02
		3.53	(10)	(3.5)	0.35	0.12		0.75	7	(1)	0.05	0.01
		0.20	10.5	3.66	0.02	0.01		1.53	6	0.5	0.09	0.01
		2.37	(7)	(0.5)	0.17	0.01		3.50	1	(0.2)	0.04	0.01
		0.36	11.6	0.47	0.04	0.00		2.77	1		0.03	
		13.02	4.02	10.16	0.52	1.32						
		35.62	4.13	9.74	1.47	3.47						
		6.80	7.08	(0.7)	0.48	0.05	総 計				38.3	14.2

昭和46年度における収穫残査中の発生量を推定しているが、ここではこの考え方をもとに昭和45年度における収穫残査中のN、P量を推定してみた。計算過程および結果は表Ⅱ2-11に示すとおりであり、Nで157千t、Pで24.0千tと、表Ⅱ2-1の農産食料品の不可食部分に比較して、Nでは収穫残査が大、Pでは小の結果となっている。

これら収穫残査のうち、そのまま農場に残されて、土に戻るのが大部分と思われるが、焼却されたり、家畜飼料にまわる分もいくらかあろう。

(9) 残飯飼料中のN、P 最近、大橋は東京都における残飯給餌の養豚の実態調査について報告しているが、これによると、東京都内の集団給食業(525/9,400事業所)<sup>14)</sup>飲食店(30店)等へのアンケート調査により残飯量を推定し、都内全体で1日96万t発生し、そのうち30万tが養豚業者に回収されているとしている。また残飯の性状については、計15検体(5×秋、冬、夏3回)の平均値として、水分70.6%、N0.984%、P0.076%を得ている。飼料成分表にもNの分析値があるが、水分量を同じにしてN0.59(旅館)、0.92(一般家庭)、1.29%(米国)といった値が記されている。東京都の場合は給食業飲食店などは全国平均よりも多く、この結果をそのまま用いると過大評価になるので、人口あたりの発生量を全国平均の2倍、回収率を3/4倍とし、N、P含量は上述の値を適用して、残飯飼料中のN、P量を推定すると  
$$((30万t / 1.661千人) \times 1/2 \times 3/4 \times 103,720千人) \times (N0.0098 \text{ または } P0.00076) = N17千t \text{ または } P1.3千t \text{ となる。}$$

(10) し尿およびごみの農地還元分中のN、P し尿、ごみの農地還元分、下水汚泥、し尿処理汚泥の農地還元分中のN、P量推定の計算経過および結果を表Ⅱ2-12に示した。し尿の農地還元分が主であるが、これらは純粋な農地還元以外に埋立処分、山林投棄なども含んでいる。生活廃棄物に由来するN、Pの農地還元量の合計は、N99千t、P14.4千tになった。

(11) 食料、飼料の輸入量 総括表(表Ⅱ2-13)に示すごとく、食料、飼料合せて、正味輸入量はN61.3千t、P92.2千tとなり、食・飼料の入力合計と比較すると $N61.3 / 1.155 = 53\%$ 、 $P92.2 / 168.3 = 55\%$ とどちらも輸入依存率が50%を越えている。輸入量のうち飼料のうちわけは、直接飼料としての輸入がN91千t、P20.8千tであるが、輸入原料に由来する大豆油粕やその他植物油粕などを飼料の輸入とみると、N40.4千t、P70.5千tと全輸入量のそれぞれ66、76%を占めており、飼料輸入の位置づけが食料よりも高いことがわかる。

(12) 不可食部分中のN、P量 食料中のN、P量の計算は、N、Pの動きをとらえることを目的としているので、不可食部分(廃棄部分)を含めたものを対象にしたが、同時

表Ⅱ 2-11 主要作物収穫残査中の N , P 量 (千t,昭和45年)

	収穫量 (千t)		残査量 (千t)	含 量 (%) N P		残査量 (t) N P		備 考
イ      ネ	12,689	モミガラ ワ      ラ	3,172 18,873	0.28 0.50	0.05 0.087	8.9 94.4	1.53 16.42	もみがら 0.2 玄      米      0.8 もみ/わら比 0.83
ム      ギ	1,107	ワ      ラ } フ      ボウ }	2,663	N20.8 P 3.74	0.46 0.36	9.6	1.36	27.9/60.3 7.4/20.3
サツマイモ	2,564	葉・ツル	872	0.24	0.024	2.1	0.21	N/P=10 として
ジャガイモ	3,609	茎・葉	1,191	0.35	0.035	4.2	0.42	N/P=10 として
大      豆	126	ク	146	0.82	0.09	1.2	0.13	
小      豆	109	ク	240	0.82	0.09	2.0	0.22	大豆残葉で代用
落      花      生	124	ク	169	0.54	0.054	0.9	0.09	
トウモロコシ	33	茎・サヤ	50	0.54	0.054	0.3	0.03	N/P=10 として
ソ      バ	17	ク	34	0.50	0.087	0.6	0.10	イナワラで代用
ア      ワ	3	ワ      ラ	50					
ヒ      エ	1	ク	27					
キ      ビ	1	ク	1					
ナ      タ      ネ	30	茎・サヤ	223	0.42	0.06	0.9	0.13	青刈ナタネで代用
果      菜      類	4,317	茎葉ツル	1,295	0.53	0.053	6.9	0.69	カボチャツルN/P=10
豆類(未成熟)	488	ク	634	0.50	0.05	3.2	0.32	エンドウツル      ク
葉      菜      類	6,039	外葉など	3,020	0.29	0.03	8.8	0.91	キャベツ外葉
根      菜      類	4,563	茎・葉	913	0.42	0.03	3.8	0.27	食品成分表より
牧草など	5,110		1,022	N22.3 P 3.17	0.2 0.2	4.5	0.63	青刈トウモロコシ など
	5,459		899	0.54	0.054	4.8	0.48	アオキ      N/P=10
	46,397		35,454			157.1	24.00	

表Ⅱ 2-12 生活廃棄物の農地還元分中の N , P 量 (千t,昭和45年)

	農地還元 状 況	計 算 条 件		農地還元量 (千t)	
				N	P
し尿	27% (埋立処分も 含む)	N *8g/人/d×103,720千人×365日×0.27	*腐熟中ロス考慮	92	
		P 1.1g/人/d×103,720千人×365日×0.27			12.7
ごみ	7.0% +93×0.015% (コンポスト)	N 1.34g/人/d×103,720千人×365日×0.084		4.3	
		P 0.147 ×103,720千人×365日×0.084			0.47
下水 汚泥	固形物50.3 千t (\$50.3) が農地利用	N 50.5千人×0.025		1.3	
		P 50.5千人×0.008			0.40
し尿 汚泥	処理普及率 40.3%,汚泥 農地利用率 20%とする。	N 7.5g/人/d×103,720千人×0.403×0.06×0.2×365日	*	1.4	
		P 0.94g/人/d×103,720千人×0.403×0.30×0.2×365日	*		0.86
合計		* 汚泥収率		99	14.4

表Ⅱ 2-13 食料・飼料中の N , P 量総括表 (千t,昭和45年)

	国内生産量		国内消費量		輸入－輸出量		備 考
	N	P	N	P	N	P	
農産物	277	54.1	227	23.7	505	69.0	522 71.4 国内食品加工副産 濃厚飼料 253 57.0
水産物	282	24.4			1	0.0	
畜産物	121	30.7			9	1.7	
加工食品					7	0.7	
農場収穫残査	157	24.0	516	110.0	91	20.8	
粗飼料	117	25.9					
濃厚飼料							
有機質肥料			38	14.2			
正味輸入量					613	92.2	

にそれらのうちわけも求めてきた。ここで、これらを集計してみると、表Ⅱ 2-14のようになる。農場の収穫残査を除外して、Nで236千t、Pで68.6千tの発生量となっている。第4節で記したごとく、濃厚飼料のうち、食品加工過程より副生する不可食部分由来のものが、N106千t、P38.0千t

表Ⅱ 2-14食料の廃棄（不可食）部分  
中の N , P 量(千t,昭和45年)

	N	P
農産物	114	36.4
(農場残査)	(157)	(24.0)
畜産物*	24	20.5
水産物	98	11.7
合 計	236	68.6

\* 輸入枝肉の骨を含む

であり、有機質肥料がN 38千t、P 14.2千tであるから、合せてN 144千t、P 52.2千tとなる。したがってNでは $144/236=61\%$ 、Pでは $52.2/68.2=76\%$ が飼料または肥料として回収されていることになる。

(13) 食・飼料中のN, P動態図の作成 前節までに得られた値を総括して、わが国の昭和45年時点の食・飼料中N, Pの動態を図Ⅱ 2-1, 図Ⅱ 2-2として表現した。図中( )をつけない値はこれまでに得られた値であり、( )をつけた値は次の手順により推定した値である。収支をとる場合、Nについては脱窒等による気化損失がある可能性があるので注意を要する。家庭食生活へのN, P入力計は、純食料供給量N 13.23g/人・日 P 1.51g/人/日を基本にして用い、それに純食料に付属して家庭にもちこまれる不可食部分の量を、著

表Ⅱ 2-15 家庭台所における食品中の N , P の収支調査結果 (g/人・日)

生データ			純食料あたりの補正データ		
	N	P		N	P
使用食品	15.28	1.53	使用純食料	14.50	1.48
ごみ	1.05	0.12	ごみ	0.41	0.06
排水	0.26	0.11	排水	0.26	0.01

者の宇部市で行った調査結果(表Ⅱ 2-15)より、N0.64、P0.06g/人/日

とし、これよりN 5 2 5 千 t, P 5 9.4 千 t を求めたものである。

計算に用いた条件は表Ⅱ 2-16, 表Ⅱ 2-17に示したとおりである。ほとんどが本研究の検討に基づくものであるが、部分的に仮定を設けて計算している。たとえば, i) し尿処理汚泥の農地還元率20%, ii) 食品流通過程から発生する有機性廃棄物のうち, 飼料, 肥料として登録されているものの他に, 飼・肥料にまわっている分の割合を15%としたこと, iii) 農場で発生する収穫残査の10%が飼料として利用されるとしたことなどである。

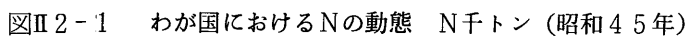
一口に食・飼料中のN, Pの動きといっても, 国内生産, 消費, 輸出, 輸入, 一次加工二次加工, 可食部, 不可食部など非常に複雑であり, 図の作成には十分慎重な配慮が必要である。図Ⅱ 2-1, 2は何回もの修正ののちに得られたものであり, 著者としておおよそ満足のいく値となっている。以下, 2, 3の点で他の方法で求めた値との整合性を検討してみる。

① 食品流通加工過程からのN, P負荷 著者が昭和44年の食品工業による排出負荷をかけて試算した結果はN 3 3 千 t, P 4.0 千 tであり, 先の図中のN 1 7 1 千 t, P 1 2.4 千 tに比較すると両者ともかなり小さい。また, その後設定した昭和47年の排出負荷原単位N 2.5 (kg/日)/(億円/年), P 0.4 (kg/日)/(億円/年)に同年の食品工業の出荷額87,854億円を乗じて求めた排出負荷はN 9 6 千 t, P 1 2.8 千 tであり, Pはほぼ一致しているが, Nはやはり相当の差がみられる。図中の値には飼料, 肥料にまわる以外の焼却されたり, 埋立てられたりする廃棄物もかなり含まれていること, 流通過程での減耗もあることを考えれば, 必ずしも矛盾した結果であるとは思われないが, NはPに比して差が大きすぎ, おそらく流通加工段階での脱窒や揮散による損失を考えなければ収支が成り立たないものと考えられる。

② 食品由来の生活排水負荷 し尿の土地還元, し尿汚泥, 下水汚泥の農地還元分を除いた食品由来の生活排水負荷は家庭食生活への全収支から求めると, N 3 3 8, P 3 8 千 tであるが, 著者らが設定した負荷原単位より求めると, N 3 4 4, P 3 3.6 千 tと概ねよく一致した値となっている。

③ 家畜糞尿中のN, P負荷 後章で述べるように家畜糞尿の排泄量と性状分析値より推定した家畜糞尿のN, P負荷発生量は年間N 4 8 2, P 1 1 8 千 tとなっている。これと図のN 5 6 5, P 1 1 1.5 千 tと比較すると, Pではかなりよく一致しているが, Nでは収支からの計算の方が83千 tも多いことになっている。この原因は, 家畜飼養過程でのNの脱窒, 揮散が無視できないことによるものと考えられる。

このようにみると, 図Ⅱ 2-1, 2の動態はかなり実態に近いものが描けているようである。全体にNの気化損失が各過程で無視しえぬものであることに注意を払う必要がある。





表Ⅱ 2-16 動態図の数値算定手順 (N)

記号	項目	計算過程	結果 (千t)
a	小麦,とうもろこし コーリヤンなど	$516 - 91 - 253 =$ 濃厚飼料 輸入飼料 不可食部由来濃厚飼料 (大豆粕・魚粉含む)	172
b	米・鮮魚・野菜 果物などの生鮮 食料	$(13.23\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 0.64) \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人} = 525$ 純食料供給量 不可食ごみ量 $525 - 227 - 61 =$	237
c	食品加工原料	$1172 - 91 - 172 - 237 =$ a b	672
d	厨芥 (食品由来 のごみ) 同焼却・埋立分	$(0.85\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 0.64) \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人} = 56.4$ 可食ごみ量 $56.4 - 4.3 + (0.49\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} \times 365 \times 103,720\text{千人})$ ごみ農地還元分 気化ロス,毛髪等 によるごみ	71
e	生活排水 (食品 由来) 負荷	収支より $525 - 71 - 17 - 99 =$ 残飯飼料 生活廃棄物土地還元分 汚濁負荷原単位より $(10.0\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 1.8) \times 365 \times 103,720\text{千人} = 447$ し尿 食品由来雑排水 $447 - (99 - 4) =$	338 (344)
f	食品流通加工 過程からの飼料。 肥料への回収量 上のせ分	$790 - 227 - 61 - 253 - 38 = 211$ 加工食品 肉・卵 回収飼料 有機質肥料 飼料・肥料への回収率どちらも15%とする。 $211 \times 0.15 = 27$ 回収上のせ分のN/P=5とする $2.6 \times 5 = 13$ (表Ⅱ 2-17 f) 平均をとって	20
g	食品流通加工 過程からの排水 負荷	$211 - 20 - 20 =$	171
h	収穫残査飼料	$157 \times 0.1 =$ 収穫残査の10%が飼料にまわるとする。	16
i	家畜糞尿発生量 (収支より)	$91 + 172 + 253 + 20 + 117 + 16 + 17 = 686$ 濃厚飼料 牧草粗飼料 残飯 $686 - 3 - 118 =$ 皮革工業原料 食品加工原料 表Ⅱ 3-43	(565) 482
j	家畜糞尿 農地還元分	$(236 + 9 + 139 + 22) \times 0.95 + 76 \times 0.75 \times$ 牛 馬 採卵鶏 ブロイラー 豚糞尿 糞尿 *農地還元率	443
k	家畜糞尿 その他処理分	$482 - 443 =$	39
l	農地からの 排水負荷	$688 + 443 + 99 + 38 + 20 = 1288$ 化学肥料 家畜糞尿 し尿ごみ $1,288 \times 0.2$	257

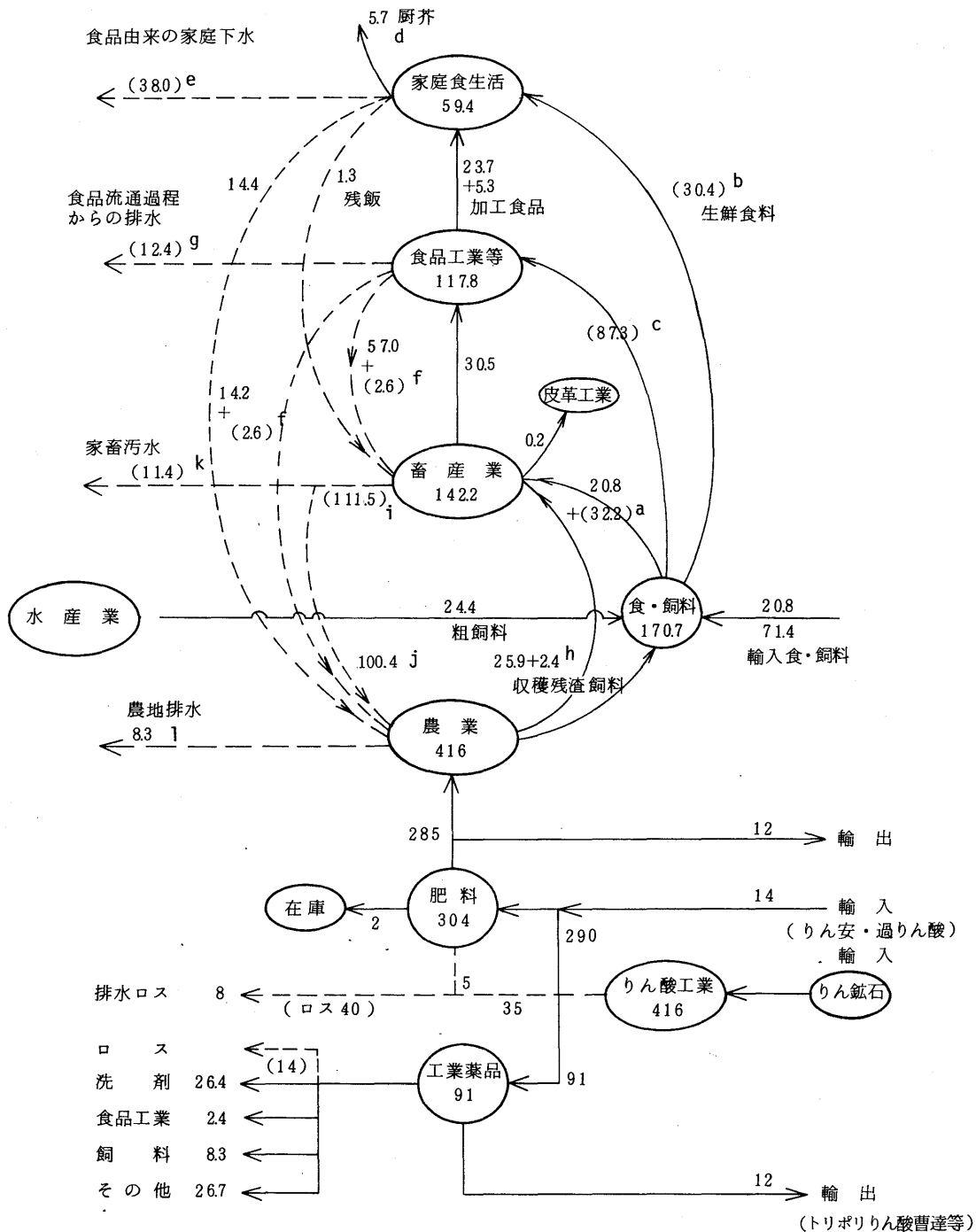


図 II 2 - 2 わが国における P の動態 P 千トン (昭和 45 年)

表Ⅱ 2-17 動態図の数値算定手順 (P)

記号	項 目	計 算 過 程	結果 (千t)
a	小麦,とうもろこし コーリヤンなど	$110 - 20.8 - 57.0 =$ 濃厚飼料 輸入飼料 不可食部由来濃厚飼料 (大豆,魚粉含む)	32.2
b	米・鮮魚・野菜 果物などの生鮮 食料	$(1.51\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 0.06) \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人} = 59.4$ 純食料供給量 不可食ごみ量 $59.4 - 23.7 - 5.3 =$	30.4
c	食品加工原料	$170.7 - 20.8 - 32.2 - 30.4 =$ a b	87.3
d	厨芥 (食品由来 のごみ) 同焼却・埋立分	$(0.087\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 0.06) \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人} = 5.6$ 可食ごみ量 $5.6 - 0.5 + (0.017\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人})$ ごみ農地還元分 毛髪等によるごみ量 =	5.7
e	生活排水 (食品 由来) 負荷	収支より $59.4 - 5.7 - 1.3 - 14.4 =$ 汚濁負荷原単位より $(1.00\text{g}/\text{人} \cdot \text{日} + 0.28) \times 365\text{日} \times 103,720\text{千人}$ し尿 食品由来雑排水 = 48.5 $48.5 - (14.4 - 0.5) =$	38.0 (33.6)
f	食品流通加工 過程からの飼料。 肥料への回収 量上のせ分	$117.8 - 23.7 - 5.3 - 57.0 - 14.2 = 17.6$ 加工食品 肉・卵 回収飼料 有機質肥料 飼料・肥料への回収率をどちらも15%とする。 $17.6 \times 0.15 =$	2.6
g	食品流通加工 過程からの排水 負荷	$17.6 - 2.6 - 2.6 =$	12.4
h	収穫残査 飼料	$24.0 \times 0.1 =$ 収穫残査の10%が飼料にまわるとする。	2.4
i	家畜糞尿発生量 (収支より)	$20.8 + 32.2 + 57.0 + 2.6 + 25.9 + 2.4 + 1.3$ 濃厚飼料 = 142.2 牧草粗飼料 残飯 $142.2 - 0.2 - 30.5 =$ 皮革工業原料 食品加工原料 表Ⅱ 3-43より	111.5 (118)
j	家畜糞尿 農地還元分	$(32.8 + 1.3 + 46.5 + 7.5) \times 0.95^* + 30.1 \times 0.75^*$ 牛 馬 採卵鶏 プロイラー 豚 = 106.3 *農地還元率 $106.3 \times 111.5 / 118 =$	100.4
k	家畜糞尿 その他処理分	$111.5 - 100.4 =$	11.1
l	農地からの 排水負荷	$285 + 100.4 + 14.4 + 14.2 + 2.6 = 416.6$ $416.6 \times 0.02 =$	8.3

(14) その他の天然物中のN, P 食・飼料以外の天然繊維, 木材などの中のN, P量は資料不足のため十分な計算ができないが, 食・飼料との比較のために, 国内生産量および輸入量中のN, P量の推定値を表Ⅱ2-18にまとめた。

生産量, 輸出入量は文献3)

表Ⅱ2-18 その他の天然物中のN, P量(昭和45年)

の統計を用いた。羊毛, 生糸のN含量はタンパク質100%として計算した。綿花, 天然ゴムのN含量は化学便覧応用編<sup>16)</sup>によった。原木の場合は国産針葉, ラワンなど4樹種類に対し次式で計算した。

	国内生産量		輸入量		計(千t)	
	N	P	N	P	N	P
生 糸	3.3	-	1.1	-	4.4	-
綿 花			10.0	-	10.0	-
羊 毛			32.3	0.22	32.3	0.22
原 皮	2.7	0.20	7.2	0.58	9.9	0.78
原 木	32.7	2.46	19.3	3.53	52.0	5.99
工芸作物	5	0.7	1.3	0.13	6.3	0.83
計	44	3.2	71	4.5	115	7.8

原木材積×乾材率(0.83~0.85)×比重(0.45~0.6)×N含量(0.06×0.14%) or P含量(0.01~0.02%) + 原木材積×樹皮率(0.15~0.17)×比重(0.5~0.6)×N含量(0.10~0.20%) or P含量(0.01~0.03%)

比重等の値は文献16)および17)を参考にして採用した。

これらその他天然物の国内生産, 正味輸入量を合せた全消費量はNで115千t, Pで7.6千tと食・飼料のN1,172千t, P171千tと比較すると一桁低い。また製品はほとんど耐久消費財であるので, 焼却により処分されることが多いと考えられ, 水に関係してくるのはそのほんの一部にしかすぎない。ただ皮革, 羊毛工業の排水はN負荷源としてもかなり大きいものである。

(15) 工業生産されたアンモニアの行方 N関連工業の構造については後章でも述べるが, ここでは食・飼料中のN, Pの動きとの関係を理解するために, 昭和45年度における工業生産されたアンモニアの行方を大把握してみた。

N化合物の工業生産には, 窒素ガスと水素ガスからのアンモニアの合成, カルシウムカーバイドからの石灰窒素の製造, 石炭乾留や石油精製に伴う副生アンモニアの回収の三つが考えられる。

i) アンモニア合成の生産量は化学工業年鑑<sup>18)</sup>より, 昭和45肥料年度で2,733千t Nであった。 ii) 石灰窒素中のN量および肥料用のうちわけは文献13)の需給実績および消費量より, それぞれ66千t, 36千tである。 iii) 石炭, 石油中のN量は後章で述べるように平均的な含量を知ることは困難であるが, ここではそれぞれ1%, 0.2%として, 昭和45年における消費量8,920万t, 196,724千kl(比重0.87)を乗じると, N量は892千t, 342千t合せて1,234千tとなる。このうち, 主として石

炭乾留工程から副生硫安として回収されたものが、後章表Ⅱ 3-3 2より、Nとして104千tとなっている。

iv) 肥料生産量および消費量、輸出量は文献 13) の肥料需給実績、消費量より求めた。ただし肥料輸出量には一部工業用アンモニア系製品の輸出があるため、これを差しひいた。

v) アンモニア系製品輸出量は文献 18) の同製品各品目需給(昭和45肥年実績見込)の輸出量を集計したものである。

vi) 合成樹脂等の生産量および輸出量については文献 18) の統計を用い、表Ⅱ 2-19に示すような手順で計算した。

vii) 水系への負荷発生量としてはN関連工業として既報<sup>1)</sup>に従い、製造損失をNH<sub>3</sub>生産量の10%の273千tNとし、そのうち水系への損失を128千tNとした。石炭工業からの損失は後章表Ⅱ 3-3 3に示すガス液発生負荷原単位0.5 kgN/t石炭を用い、これに昭和45年度の石炭乾留量61,400千tを乗じ、31千tNが計算される。

また石油工業からの損失は内村<sup>22)</sup>の報告を参考にして、25万バレル/日の製油所の処理前の発生負荷を(9.5/2) tN/日として、300日稼動、全国通油量367万バレル/日より21千tNを得た。処理後の排出負荷としてはおそらくこの10分の1程度の値と考えられる。アスファルトはN含量0.5%に生産量3,581千tを乗じて求めた。

viii) その他の製品および燃料中のN量は収支より差しひいて求めたものであり、したがって一部製造過程の気化損失を含んでいる。

(16) 工業生産されたリン酸の行方 Nと同様、Pについても、既報<sup>1)</sup>には昭和44年度の、後章には昭和50年度のリン酸工業の構造を述べているので、ここでは食・飼料循環図と対応させる意味で、工業生産されたPの行方を大略計算して、図Ⅱ 2-2の下半分に示した。<sup>19)</sup>計算手順は表Ⅱ 2-20、21に示すとおりである。

リン酸の由来はほとんど海外から輸入されるリン鉱石であり、昭和45年における輸入量は3,008千tである。一方リン製品などから計算されたPの総量は416千tとなり、これよりリン鉱石のP含量を逆算すると13.8%となる。昭和50年度における輸入リン鉱石のP含量加重平均値は文献 16), 20), 21)を参考にして14.99%であり、肥料中の不溶性Pの見おとしなど、製品中のP含量の見積りがやや小さかった可能性がある。したがって肥料中のP量は290千tP強、工業薬品の生産量は77千tP程度であり、これらP関連工業からの水域への排出量は既報<sup>1)</sup>を参考にしておよそ20千tP/年前後であったと推察される。図Ⅱ 2-2では工業薬品のうち、食・飼料サイクルと関係の深い食品、飼料用のP、洗剤用のP量の数値も参考のために示している。

表Ⅱ2-19 合成樹脂・繊維中の N 量

用途	材 質	生産量 (t)	N含量	用途割 合 (%)	N量 (千t)
成形材料	ナイロン樹脂	349,407	14/108	4.71	2.1
	ABS, AS 樹脂	423,785	14/53	11.0	12.3
	ゴム 尿素樹脂 メラミン樹脂 メラミン化粧板 ポリウレタン	535,684 102,628 Nとして8.9-1.5千t	28/120 140/357	2.4 14.5 6.1 16.7 54.9 計	2.7 18.1 2.4 6.8 4.1 48.5
接着剤	尿素樹脂 メラミン樹脂			73.3 57.2 計	91.5 23.0 114.5
塗料	尿素樹脂 メラミン樹脂			0.8 14.1 計	1.0 5.6 6.6
紙加工	尿素樹脂 メラミン樹脂			2.8 2.4 計	3.5 1.0 4.5
繊維加工	尿素樹脂 メラミン樹脂 ポリウレタン			2.2 3.5 3.1 計	10.2 1.4 0.2 11.8
繊維加工	ポリウレタン等			42.0 計	3.1 3.6
合成繊維	アクリルセーイ ナイロンセーイ			64.2 87.9 計	39.8* 23.9** 63.7
輸 出	アクリルニトリル カプロラクタム ナイロンチップ アクリルセーイ ナイロンセーイ TDI その他 N 官能 化合物			13.1 6.27 1.5 計 (0.1)	14.7 2.8 0.7 32.1 15.8 1.5 0.4 68

\* 国内消費 55.4% 輸出 44.6%  
\*\* 〃 〃 39.8%

表Ⅱ2-20 リン工業の P 量算出根拠

項 目	P千t	根 拠
a リン酸肥料の生産	290	文獻 13) 52頁
b 〃 消費	285	〃 〃 47頁
c 〃 輸出	12	〃 〃 54頁
d 〃 輸入	14	〃 18) 468頁
e 〃 在庫増	2	〃 13) 55頁
f 工業薬品向 P 量	90.1	工業用通式リン酸 60.7千t P (文獻18) 468頁) 乾式リン酸 (出荷) 21.9 ( 〃 480頁) 乾式リン誘導体 7.5 ( 〃 ) 文獻19)より集計 (トリポリ 10.1, 乾式リン酸 1.1 千t Pなど)
g 工業薬品輸出	12	
h 洗 剤 用	26.4	〃 18) 479頁
i 食 品 用	2.4	〃 19)より集計
j 飼 料 用	8.3	〃 18) 468頁
k そ の 他	26.7	工業薬品合計 75.8千t (表Ⅱ2-21) より g, h, i, j を差しひく。
l 2次製品ロス	14	f 90.1-75.8=14
m 1次製品ロス	40	既報 (文獻 1) ) より昭和44年度の 39.9 千tを リン鉱石輸入量比でスライド
	5	リン酸肥料の収支より
	35	40-5=35

表Ⅱ2-21 P 工業薬品の出荷 (生産) 量 P千t 昭和45年度

製 品	P	備 考 (根 拠)
乾式		
リ ン 酸	15.5	文獻 20), 480頁表 出荷から2次製品を差引く
リン酸2次製品	3.3	同表14-9のリン酸アンモン以下を合計する。
リン誘導体	7.5	同表, 黄りんからオキシ塩化リンまで合計(リン 酸の項のみ除く)
湿式		
リン酸 (飼料用)	8.3	文獻 20), 468頁
トリポリリン酸ソーダ	37.7	文獻 20), 479頁
ピロリン酸カリウム	0.6	文獻 21)
リン酸第2カルシウム	2.9	文獻 21)昭和46年度より類推した。
合 計	75.8	

## 2・3 考 察

表Ⅱ 2-22に昭和45年において、わが国内で人為的に動いていたN、P量を各項目ごとにまとめてみた。もちろん水域に及ぼす影響はこれらの量では評価できないので、本章の段階では吟味は十分ではないが、水域への排出量を参考までに概算した結果は表Ⅱ 2-23のようになる。

まず表Ⅱ 2-22でみると、食・飼料の輸入だけでもはや生態レベルを逸脱している可能性があり、その上に、N、Pとも食・飼料の量の約2倍量が化学物質や化石燃料の形で国内を動いていることになる。化学肥料の消費量が少なく、食料も自給していた時代では農地と人間をつなぐN、P循環図はほぼ閉じられていて、そのため農地は収奪気味で、農業生産は不安定であった。しかし生態学的にみれば系は安定であったわけである。しかし化学肥料、輸入食料、輸入飼料その他の形で大量のN、Pが系外からもち込まれると、系内にN、Pの蓄積がおこる。富栄養化の根本的な原因がここに存在することは疑う余地がない。入力条件がそれなりに安定すれば、それに対応した新しい定常状態が成立するわけであるが、人間を中心に据えた生態系の許容できる、あるいはもっとも望ましい状態が維持される入力条件の設定が必要である。具体的には有機肥料、回収肥料の代替による化学肥料の低減、食料自給率の向上と農地の保全などが考えられ、これが生態学的にみた富栄養化対策のあり方であるといえる。

表Ⅱ 2-23の水域排出量の推定値は各発生源の寄与率を与えるような精度は有しないが、富栄養化を進行させる潜在力の目安とはなるであろう。N、Pとも家庭下水の割合がもっとも高く、Nでは農地排水、Pでは工業排水がこれに次いでいる。

次に農地におけるN、P収支をこれまでに得られた値を用いて整理してみると図Ⅱ 2-3のようになる。N、Pとも農地においてはかなりの入超であり、Nの場合は脱窒、揮散等による気化損失、Pでは土壌による固定が重要な要素となっている。これらがどの程度まで周囲の環境に悪影響を与えることなく入超分を消化しているか、農地におけるN、P収支の実態をさらに明らかにしていくことが必要であろう。

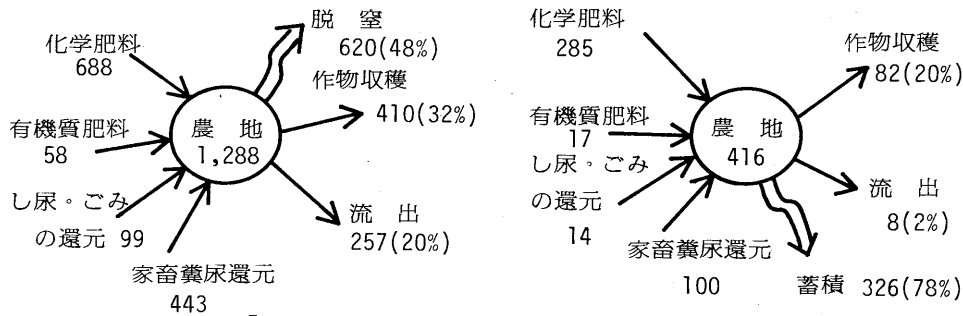
化学肥料の代替になりうる、食・飼料由来の未回収有機物の量は、図Ⅱ 2-1、2より、 $N, (56.4 - 4.3) + 338 + (171 - 790 \times 0.09) + 39 = 529$  千t (ただし0.09:脱窒率),  $P, 38.0 + 5.7 + 12.4 + 11.4 = 67.5$  千tであり、Nでは化学肥料の77%, Pでは24%に相当する。

NはPとは異なり、各々の段階での気化損失がかなり大きいようである。精度の高い議論ではないが、一応表Ⅱ 2-16, 17から大略その大きさを推定してみると表Ⅱ 2-25のようになり、燃料の燃焼は別としても、農地や畜産、食品加工などの場でもかなりの割合で

気化損失がみられるようである。家庭における気化率は医学文献をもとにして、0.43g／人／日ととり、3％の脱窒率となっているが、もう少し大きい可能性もある。

農地における気化損失率は肥料流出率を20％としたこともあって47％とやや大きい値となっている。気化損失600千t Nのうち140千tは収穫残査として農場の地表に放置される分であり、この気化損失率は大きくみつもってよからうが、それにしても非常に大きい値である。この気化損失量600千t／年を耕地面積あたりで除して日量に換算すると280mg N／m<sup>2</sup>／日である。

その他の問題点として、石油、石炭中のN量の、燃焼→大気汚染→降雨→水域の移行過程に注意を払う必要があること、合成樹脂、合成繊維などの形で年々かなり大量に（昭和45年度で255千t N／年）蓄積されつつあるので、これらの本格的廃棄化時期には、処理方法について留意すべきである。



図Ⅱ 2-3 わが国の農地における N , P 収支 (昭和45年度)

表Ⅱ 2-22 わが国の N, P 投入量 (昭和45年)

	N (千t)	P (千t)
食・飼料	1,305	199
その他天然有機物	115	8
N , P 化学物質	1,287 ※	407※※
石 炭	892	
石 油	342	
計	3,941	614

※2,733+66-1,386-126

※※417+14-12-12

表Ⅱ 2-23 わが国の N, P 水域排出量 (昭和45年)

	N (千t)	P (千t)
家 庭	338	38
食品工業	64	8
畜産業	39	11
農耕地	257	8
化学工業	128	22
石油石炭	33 ※	
計	864	87

※石炭 31+石油 (21×0.1) =33

表Ⅱ 2-24 各プロセスにおける気化 N 損失の推定

	気化損失 N (千t)	投入量に 対する割 合 (%)	計 算 条 件
人 間	16	3	0.43g／人・日×365×10,372千人
食品工業等	105	9	171-(64×1.5)* 未回収固形廃棄物が廃水の負荷の半量あるとする。
家 畜	83	12	565-482
農 地	600	47	図Ⅱ 2-3
化学工業	145	5	273-128
石油・石炭	1,080	88	1,061+(21×0.9*) 0.9: 石油廃水処理による除去率



## Ⅱ - 3 N, P 負荷原単位の精度向上に関する研究

### 3・1 はじめに

水質予測は沿岸域の開発に係る環境アセスメントや流域下水道基本計画の重要な部分をなすものであり、モデルの精緻化や大型計算機の利用等、計算精度の向上に多くの努力が払われてきている。しかしその基礎となる流入負荷量については不十分な実測値をそのまま用いるか、形式的な原単位計算によるものがほとんどであり、あまり注意が払われていないのが現状である。

汚濁物質の水域への流入過程と、流入負荷量の原単位計算の一般的手順は図Ⅱ 3-1, 図Ⅱ 3-2 に示すように、負荷の発生、排出、流達の三段階に分けて考えなければならぬ。本章では、富栄養水域への N, P 流入負荷量の算定精度を向上させることを目的として、生活下水等の人為的一次負荷発生源の N, P 負荷発生、排出の段階をとり上げ、物質収支法を利用した負荷原単位の設定方法を提示する。次節以後、3 節にわたって、生活下水、工業排水、農業排水の N, P 負荷原単位について述べる。

負荷流達の段階は章をあらためて次章で論じるので、順序がやや前後するが、3・5 節では本章のまとめとして、流入負荷量の計算方法について述べる。

### 3・2 生活下水の N, P 負荷原単位<sup>1), 2)</sup>

#### 3・2・1 研究目的

本節の研究目的は i) 生活下水の N, P 発生負荷原単位を食品由来、洗剤類等由来に区分して明らかにする。 ii) 処理の現状を把握して、N, P 排出負荷原単位を設定することである。

#### 3・2・2 研究方法

研究方法の概略は以下に示すとおりである。まず発生負荷原単位については、

- i) 食品供給量、洗剤類等消費量の情報を収集する。
- ii) 食品中 N, P 含量は食品成分表による。
- iii) 洗剤類等の N, P 含量は実際の市場製品を分析して求める他、原材料消費量統計が使えるものは、これも参考にする。
- iv) 洗剤類等由来の N, P 負荷は化粧品の一部を除き、消費量がすべて排水にでるものとする。

v) 食品由来の N, P 負荷の内訳については、洗剤類等を使用しない雑排水や厨芥の分析を行い、医学関係のし尿や汗等に関する情報も参考にし、調理過程や人体における物質収支を明らかにし、し尿と雑排水の区分を行う。次いで、排出負荷原単位については、

vi) 下水処理場, し尿処理場, 浄化槽について数多くのN, P収支調査を行い, 文献値も参考にして平均的な排出率を求め, 発生負荷原単位にそれぞれの排出率を乗じて排出負荷原単位を設定する。最後に,

vii) 種々の実測データとそれに対応する上記物質収支法による計算値を比較対照して, 物質収支法の有用性を検証する。

### 3・2・3 研究結果

#### (1) 生活下水のN, P排出経路

一般家庭について, 生活下水のN, P負荷に関する排出経路は図Ⅱ3-3のごとくであり, 食品由来および洗剤類等由来のN, Pはし尿, 食品由来の雑排水, 洗剤類等由来の雑排水の形で発生し, 下水処理, し尿処理, 浄化槽等の処理を経て, 環境中へ排出される。なお生活下水の一部は通勤, 通学, 買物などの昼間人口移動に伴い, 第三次産業排水や工業排水の負荷の一部を構成する。

#### (2) 食品由来のN, P発生負荷原単位

①食品供給量および摂取量 食品由来のN, P発生負荷の基礎となるのは食品供給量および摂取量の統計である。幸い食品供給量は食料を生産し流通する立場から農林省がまとめている「食料需給表」<sup>3)</sup>を, 食品摂取量は国民の栄養状態を把握する立場から厚生省がまとめている「国民栄養の現状」<sup>4)</sup>を利用することにより, 信頼性の高い値が求まる。

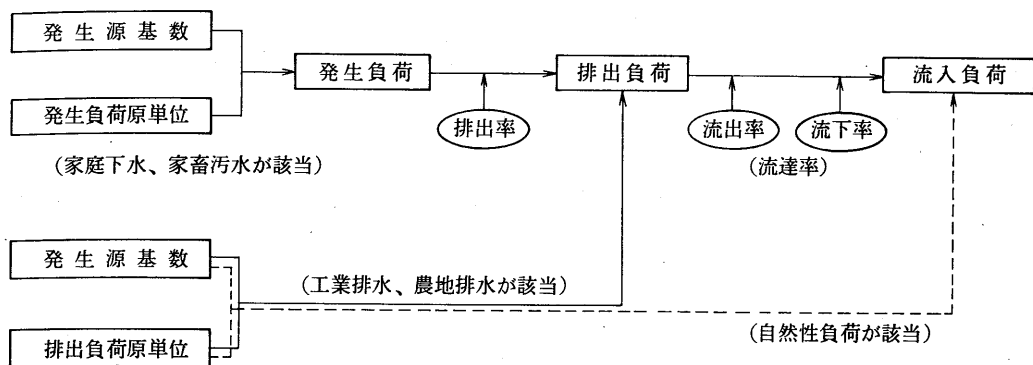
表Ⅱ3-1はこれらの統計より, Nはたんぱく質からの換算から, Pは各食品量にP含量を乗じる方法で国民1人1日あたりのN, P使用量を計算した結果である。供給量と摂取量はいずれも純食料すなわち廃棄部分を除いた可食部食品量として整理されている。また両者は全く別の方法で推計されたものであるが, このように整理してみると非常によく一致している。Nについては, 両者の平均を, Pについては食品摂取量を, 生活下水にかかるN, P発生負荷原単位とみてよいであろう。ただしこの値は外食も含んだものであることに注意する必要がある。

②新鮮し尿等のN, P負荷 新鮮し尿の性状については医学分野でとくに尿について, 多くの報告例があるが, 平均的な原単位を知るためには, ばらつきが大きく, 尿の分析例が少ないこともあって十分なデータを得ることができない。主要な知見を以下に挙げる。

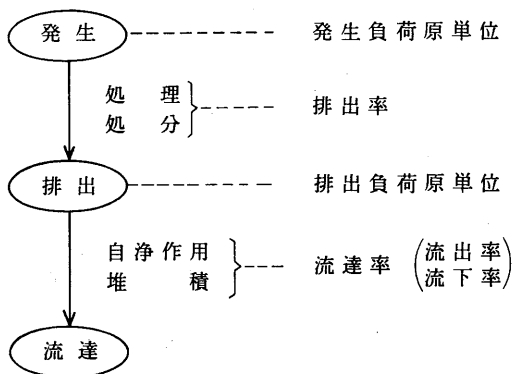
i) 新鮮し尿の量は平均的にし0.1 kg/人/日, 尿1.1 kg/人/日 計1.2 kg/日 (1.2 l/人/日) 程度とみてよい。

ii) N負荷量については, 通常の成人でNはし0.8~2.7 g/人/日, 尿7.5~12.6 g/人/日で正味摂取量の67~90%が尿に出る。

iii) P負荷量については, 同様に, し0.2~0.5 g/人/日, 尿0.41~1.1 g/人/日



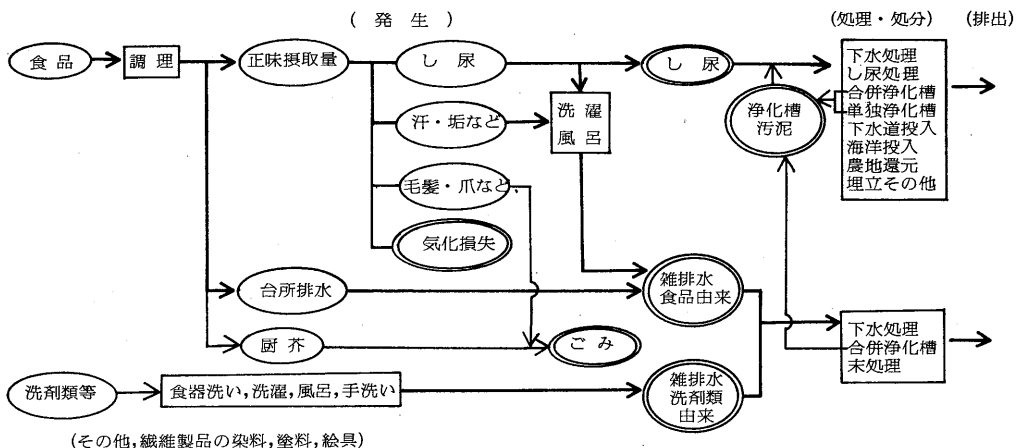
図Ⅱ3-1 流入負荷の計算過程



図Ⅱ3-2 N, P 負荷の流達過程

表Ⅱ3-1 N, P の食品供給量および摂取量 (g/人/日)

昭和 年次	N			P	
	供給量	摂取量	食品 力	供給量	摂取量
30	11.6	11.2	11.4	1.37	1.37
35	11.5	11.8	11.6	1.41	1.34
40	11.7	12.0	11.9	1.47	1.39
45	12.7	13.2	13.0	1.51	1.39
50	13.1	13.6	13.3	1.52	1.35



図Ⅱ3-3 生活下水のN, P 負荷の排出過程

で、し尿のうち尿の占める割合は 57～71%となっている(表Ⅱ 3-2)。

次に汗や垢など、し尿以外の経皮損失量等に関する報告側から、一旦口の中へ入った食品中の N, P のし尿以外への行方を、医学関係等の種々の文献を参考にして整理してみると、表Ⅱ 3-3 のようになる。し尿以外のものに移行する量は N で 1.24 g/人/日, P で 0.082 g/人/日程度であり、そのうち雑排水に出てくる可能性のあるものとしては N 0.7 g/人/日, P 0.06 g/人/日程度であると考えられる。

### ③ 家庭雑排水中の食品由来の N, P 負荷量調査

表Ⅱ 3-4 は著者が昭和 48 年 12 月から 1 月にかけて、宇部市の一般家庭について、台所の調理過程における N, P 収支調査を行った結果である。

台所の食品由来の N, P 収支は次式で考えることができる。

$$\text{使用食品中 (N}_1, \text{P}_1) = \text{台所排水中 (N}_2, \text{P}_2) + \text{厨芥中 (N}_3, \text{P}_3) + \text{し尿, 汗, 垢など (N}_4, \text{P}_4) \cdots \cdots (1)$$

ここで、N<sub>1</sub>, P<sub>1</sub> は使用食品の重量を測定し、食品成分表の N, P 含量を乗じて求め、N<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, P<sub>3</sub> は 1 日分を収集し、実際に分析を行って求めた。N<sub>4</sub>, P<sub>4</sub> は(1)式の収支より求めた。

調査家庭は消費者モニター 14, 一般家庭 9, 延べ 43 家庭・日であり、うち著者の A 家庭は 18 を占める。結果の整理にあたっては、先に述べた食品入力が純食料(可食部)として表わされているため、使用食品を可食部のみに補正をし、厨芥からも不可食部分の N, P 量をさしひく操作を行った。この調査の主要な成果は次のとおりである。

i) 食品由来の台所排水中の N, P 負荷は A 家庭で N 0.38 g/人/日, P 0.115 g/人/日, モニターで、N 0.30 g/人/日, P 0.128 g/人/日となり、可食部食品使用量に対する割合でいうと、A 家庭で N 3.5%, P 10.9%, モニターで N 1.8%, P 7.7%であった。

ii) 使用量と排水への損失量との関係を回帰式で表わすと、表Ⅱ 3-4 のようになり、N については使用量が大きくなると明らかに排水への損失率は増大する。P については、排水負荷の主体が米のとぎ汁であるので、使用量の増加に対する損失率増加の傾向もわずかである。

iii) 洗剤類を除いた食品由来の風呂・洗濯排水中の N, P 負荷は A 家庭の調査から推定すると、N 0.7 g/人/日, P 0.05 g/人/日程度の値である。

### ④ 食品由来の N, P 発生負荷原単位

①, ②, ③の知見を総合し、若干の補正を加えて、食品由来の N, P の発生負荷原単位ならびに収支を昭和 50 年についてまとめてみると、表Ⅱ 3-5, 図Ⅱ 3-4 のようになる。

表Ⅱ 3-2 新鮮し尿の N,P 負荷  
(g/人/日)

	N	P
し	0.8~2.7	0.2~0.5
尿	7.5~12.6	0.4~1.1

表Ⅱ 3-4 食品使用量と台所排水への  
損失量の間の関係

	回 帰 式	相関係数 $r$
N	排水 (Y) A 家庭 ~ 使用量 その他 (X) $Y=0.0015X^{2.15}$ $Y=0.0045X^{1.48}$	0.60 n=15 0.76 n=22
P	排水 (Y) 全体 ~ 使用量 (X) $Y=0.075X^{1.04}$	0.47 n=37

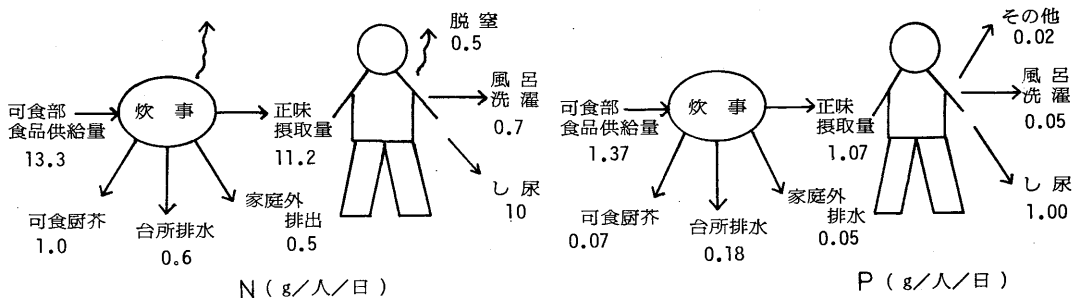
表Ⅱ 3-3 し尿以外の食品由来N,Pの行方  
(g/人/日)

	N	P
汗	250 ~500	40
垢 (乾燥皮膚)	75	4
毛髪・ひげ・爪	16	1.1
体 液	8	1.3
おむつの洗濯	165	20
呼 気	5	-
脱 窒	380	-
体重増	16	5.3
出 生	4	1.5
死 亡	26	8.6
合 計	1,240	82
うち雑排水	700	60

表Ⅱ 3-5 食品由来の N , P の行方 (g/人/日)

		N		P	
可食食品使用量	a	13.3		1.37	
可食厨芥	b	$13.3 \times 0.067 \times 1.1^*$	0.98	$1.37 \times 0.049 \times 1.1^*$	0.074
台所排水	c	$13.3 \times 0.035 \times 1.2^*$	0.56	$1.37 \times 0.109 \times 1.2^*$	0.179
風呂排水	d	$0.14 \times 2^*$	0.28	$0.004 \times 2.5^*$	0.010
洗濯排水	e	0.42	0.42	0.037	0.037
気化その他	f	0.5~	0.55	0.017	0.017
外食排水等	g		0.5		0.05
し 尿	h		10.0		1.00

\* 補正係数



図Ⅱ 3-4 食品由来の N , P の行方

それぞれ支出の内訳については、もっと試料数を上げた調査を行って精度を高める余地がある。またとくにNについては気化損失の見積りがし尿の負荷の設定に微妙な影響を及ぼしてくることに注意が必要である。

### (3) 洗剤類等に由来するN、P発生負荷原単位

合成洗剤、石けん、シャンプー、リンス、歯みがき、台所洗剤、化粧品等は使用量がほとんどそのまま生活下水の負荷となる性質のものであり、これら製品の成分分析と消費量から精度の高い原単位の設定ができる。表Ⅱ 3-6は昭和47年から51年にかけて分析した製品のN、P含量と市場占有率より求めた平均濃度に1人1日あたりの消費量を乗じて算出した洗剤類等由来のN、Pの発生負荷原単位を示したものである。経年的には、昭和49年を頂点として、昭和50年には環境・資源問題を配慮した洗剤の小型化、低リン化の努力によって、N、P、CODとも顕著な減少を示している(図Ⅱ 3-5)。

合成洗剤によるP負荷原単位については、トリポリリン酸ソーダの消費量より推定する方法もある。表Ⅱ 3-7にその検討結果を示した。表中aはトリポリリン酸ソーダの生産工場の家庭用合成洗剤向出荷量<sup>5)</sup>であり、bは洗剤生産工場のトリポリリン酸ソーダの消費量<sup>6)</sup>である。両者の値は若干異っているが、表Ⅱ 3-7の対応する値を比較してみると、ほぼ両者の間にあることがわかる。トリポリリン酸ソーダ以外にも液体洗剤にはピロリン酸カリも0.02g P/人/日(昭和53年)程度消費されていること、洗剤工業会員外の生産、業務用洗剤による負荷等を考慮するならば、三次産業排水をある程度含めた生活下水の負荷原単位としてはどちらかといえば上段の数値を重視すべきであろう。

### (4) 生活下水のN、P発生負荷原単位

以上のような検討から、三次産業排水を経由する分も含めて、生活下水のN、P負荷原単位を昭和53年前後について設定した結果は表Ⅱ 3-8に示すごとくである。洗剤類等由来のP原単位がさらに低下する可能性があることを除けば、食生活もほぼ一定レベルで推移しているので、ここに示した値はかなり安定したものであると考えられる。

### (5) 昼間人口移動に伴う負荷の移動

この生活下水発生負荷原単位の大部分は家庭下水の負荷になるが、一部は昼間人口移動に伴う家庭外用便や外食などによって、家庭外で排出される。これらは三次産業排水の負荷の主要な部分を構成すると考えられる。下水道基本計画においてはとくにこのような昼間人口の移動に伴う負荷の移動について正確な評価が要求されるが、これまでのところ三次産業排水の負荷量計算の体系化はまだなされていない。

ここでは業務人口を基数とする算定方法を提案し、体系化の足がかりとしたい。この方法ではまず、家庭外で排出される生活下水原単位を就業者にすべて担わせる形で、次次に

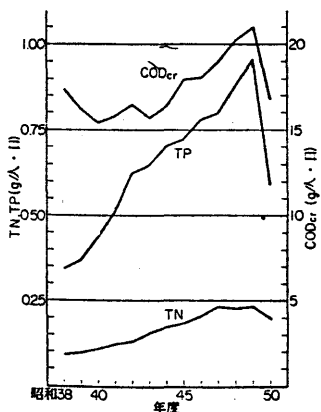
表Ⅱ 3-6 洗剤等による汚濁負荷原単位計算結果

昭和		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
COD <sub>Cr</sub> (g/人・日)	合成洗剤	2.69	2.88	3.41	4.07	4.91	5.08	5.52	6.17	6.32	6.34	7.09	7.77	5.08
	衣食用器・野用その他	0.88	0.94	1.11	1.33	1.42	1.68	1.89	2.00	2.29	2.57	2.45	2.45	2.11
	石けん	0.111	0.119	0.140	0.169	0.189	0.233	0.268	0.256	0.186	0.274	0.291	0.314	0.218
	浴固粉	4.97	5.09	5.15	5.29	5.40	5.58	5.72	5.78	5.56	5.73	5.99	6.28	4.43
	練シリ※化	4.06	3.22	2.23	2.00	1.75	1.42	1.13	0.933	0.802	0.662	0.689	0.672	0.426
N (mg/人・日)	衣食用器・野用その他	3.18	2.37	1.75	1.42	1.21	1.04	1.02	0.97	0.88	0.90	1.23	0.92	1.23
	石けん	0.119	0.142	0.168	0.177	0.220	0.232	0.255	0.252	0.302	0.325	—	—	—
	浴固粉	—	—	—	—	0.383	0.476	0.543	0.558	0.605	0.729	0.765	0.807	0.393
	練シリ※化	0.598	0.648	0.630	0.538	0.594	0.452	0.915	0.853	0.984	1.07	1.12	—	—
	計	16.6	15.4	14.6	15.0	16.1	15.3	16.2	17.8	18.1	18.9	20.0	19.6	14.4
P (mg/人・日)	合成洗剤	2.74	2.93	3.48	4.15	5.01	5.18	5.63	7.62	7.69	7.60	8.50	9.31	6.09
	衣食用器・野用その他	58.6	62.8	74.4	88.7	94.7	112.0	126	134	153	171	164	164	141
	石けん	0.851	0.918	1.08	1.30	1.46	1.79	2.06	1.97	1.43	2.11	2.24	2.42	1.68
	浴固粉	4.97	5.09	5.15	5.29	5.40	5.58	5.72	5.78	5.56	5.73	5.99	6.28	4.43
	練シリ※化	0.243	0.670	0.462	0.415	0.364	0.296	0.133	0.194	0.167	0.092	0.143	0.139	0.088
P (mg/人・日)	衣食用器・野用その他	0.190	0.141	0.114	0.097	0.084	0.082	0.078	0.077	0.077	0.072	0.099	0.074	0.099
	石けん	0.282	0.098	0.116	0.122	0.152	0.160	0.176	0.174	0.208	0.224	0.248	0.228	0.232
	浴固粉	—	—	—	—	24.1	30.6	34.2	35.2	38.1	46.0	48.2	50.9	44.3
	練シリ※化	0.366	0.378	0.347	0.304	0.334	0.237	0.453	0.432	0.485	0.511	0.543	0.543	0.988
	計	68.7	73.1	85.2	100.4	132	156	175	186	207	234	230	234	198
P (mg/人・日)	合成洗剤	313	334	396	472	571	590	641	660	707	715	802	876	511
	衣食用器・野用その他	0.172	0.184	0.218	0.260	0.277	0.328	0.370	0.392	0.448	0.502	0.479	0.480	0.413
	石けん	2.33	2.51	2.94	3.55	3.98	4.90	5.63	5.39	3.92	5.75	6.12	6.61	4.59
	浴固粉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	練シリ※化	0.074	0.059	0.041	0.037	0.032	0.026	0.021	0.017	0.017	0.011	0.013	0.012	0.008
P (mg/人・日)	衣食用器・野用その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	石けん	26.4	31.5	37.3	39.2	48.9	51.4	56.6	55.9	66.9	72.0	79.6	73.2	74.5
	浴固粉	—	—	—	—	2.03	2.52	2.88	2.96	3.21	3.86	4.06	4.27	3.73
	練シリ※化	0.043	0.048	0.053	0.055	0.055	0.038	0.130	0.115	0.142	0.219	0.267	0.280	0.327
	計	342	368	437	515	626	649	707	725	782	798	883	961	595

※ 昭和38～43年はヘアリキッドは含まず。

表Ⅲ 3-7 家庭用合成洗剤の T-P 発生負荷原単位

年次(昭和)	45	47	49	51	53
項目					
トリポリりん酸ソーダ					
a 需要別出荷量 (千トン/年)	102.6	118.0	139.8	84.7	82.6
b 油脂加工工場消費量 (千トン/年)	99.1	105.5	127.8	72.0	53.1
c 家庭用合成洗剤生産量 (千トン/年)	466	516	624	450	532
d 洗剤の P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量 計算値 (%)	12.7	13.2	13.0	10.9	9.0
e 全国人口 (万人)	10,352	10,585	10,957	11,215	11,536
f 合成洗剤 T-P 原単位 計算値 (g/人/日)	0.69	0.77	0.88	0.52	0.50
	0.66	0.69	0.81	0.44	0.32



図Ⅲ 3-5

洗剤等による汚濁負荷原単位の推移

a) 文献 5), b) 文献 6), d), f) の上段は a) より, 下段は b) より。

トリポリりん酸ソーダの P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量は57.88%, P含量は25.26%。

より業務人口1人あたりの原単位を設定する。

$$\text{業務人口による業務下水発生負荷原単位} = \frac{\text{生活下水発生負荷原単位} \times \text{家庭外排出率}}{\text{就 業 者 率}} \dots\dots\dots(2)$$

ここで業務人口は3年ごとに行われる事業所統計調査によって、地区別の統計を入手する。ただしこれには専業および第一種兼業農漁家の就業人口が入ってこないの、これらが無視しえない場合には、それらの地区別人口を別に調べる必要がある。

結局、対象域が大きくて昼間人口の移動を考慮する必要のない場合には生活下水の発生負荷 $L_o$ は次の (3) 式で算出し、対象域が小さくて、下水道処理区域のように昼間人口移動を考慮しなくてはならない場合には、 (4) 式に示す常住人口による発生負荷 $L_d$ と先述した業務人口による発生負荷 $L_t$ に分けて計算する必要がある。

$$L_o = \text{生活下水発生負荷原単位} (A_o) \times \text{常住人口} \dots\dots\dots(3)$$

$$L_d = \text{常住人口による家庭下水発生負荷原単位} (A_d) \times \text{常住人口} \dots\dots\dots(4)$$

$$L_t = \text{業務人口による業務下水発生負荷原単位} (A_t) \times \text{業務人口} \dots\dots\dots(5)$$

三次産業排水の負荷量を求める場合には、(2)および(5)式を基本にして、業務人口による吸引係数の相違等、地域性の補正を加えて考えればよい。対象地域の大きさ、特殊性や要求される算定精度に応じ、場合によってはよりきめの細かい計算方法をとる必要がある。また三次産業の排水のうち、食品流通過程の損失や種々の化学品等に由来する負荷等についての評価はおそらくは誤差範囲内の問題であるが、今後検討すべき課題である。

昭和53年前後における常住人口にかかる家庭下水発生負荷原単位、業務人口にかかる業務下水発生負荷原単位の設定値を、生活下水発生負荷原単位と対応させて、表Ⅱ3-8に示した。表中 $a$ は就業率で0.5弱の値である。設定した生活下水の発生負荷原単位の $N$ では約12g/人/日のうち、9g/人/日程度が家庭下水として排出され、残り25%の3g/人/日程度が家庭外から排出される。同様に $P$ では1.79g/人/日のうち、17%の0.31g/人/日程度が家庭外からの排出されるという結果が得られた。

なお同表のし尿の家庭内外への割りふりについては、文献に報告された家庭外用便率<sup>7), 8)</sup>や家族構成員別のし尿排出量等<sup>9)</sup>を参考にして表Ⅱ3-9のように推定した。

#### (6) くみとりし尿、投入し尿の $N$ 、 $P$ 濃度

ここで、し尿の $N$ 、 $P$ 発生負荷原単位の信頼性を検討するために、くみとりし尿や投入し尿の $N$ 、 $P$ 濃度の試算を行ってみる。投入し尿には浄化槽汚泥がいくらか混入している。

まず表Ⅱ3-10ではくみとりし尿、投入し尿の水量原単位を、清掃洗浄水や蒸発による減量等<sup>10)</sup>も考慮して試算しているが、くみとりし尿では1.2/l/人/日、投入し尿では、1.43l/人/日(し尿処理人口1人あたり)となっている。厚生省の統計によれば、昭和<sup>11)</sup>



表Ⅱ 3-8 生活下水の N , P 発生負荷原単位 (g / 人 / 日)

昭和53年 前後	生活下水発生負荷 原単位		常住人口にかかる家庭 下水発生負荷原単位		業務人口にかかる業務 下水発生負荷原単位	
	N	P	N	P	N	P
し 尿	10	0.97	7.5	0.76	2.5/a	0.21/a
雑排水	2.0	0.82	1.5	0.72	0.5/a	0.10/a
計	12.0	1.79	9.0	1.48	3.0/a	0.31/a

a:  
就業者率

表Ⅱ 3-9 昼間人口の移動を考慮した家庭下水の N , P 負荷原単位試算例

		家庭外 用便率	し 尿 量 原単位 家庭外 (g / 日)		N 原単位 家庭外 (g / 人 / 日)		P 原単位 家庭外 (g / 人 / 日)	
し	父	0.16	135	22	3.1	0.50	0.65	0.104
	母	0.05	41	2	0.9	0.05	0.20	0.010
	男 児	0.04	99	4	2.3	0.09	0.48	0.019
	女 児	0.04	23	1	0.5	0.02	0.11	0.004
	小 計		298	29	(1.7)	0.66	(0.36)	0.137
尿	父	0.50	1,350	743	12.9	6.45	0.99	0.495
	母	0.15	1,215	182	11.6	1.74	0.89	0.134
	男 児	0.20	513	103	4.9	0.98	0.38	0.076
	女 児	0.10	405	57	3.9	0.39	0.30	0.030
	小 計		3,483	1,085	(8.3)	9.56	(0.64)	0.735
1.人 1 日あたりし尿原単位			945	279	10.0	2.56	1.00	0.218
家庭外に排出される割合				29%		26%		22%

表Ⅱ 3-10 くみとりし尿,投入し尿の水量原単位の試算

	計 算 条 件	水量原単位 (ℓ / 人 / 日)
し 尿	1.2ℓ / 人 / 日 × 0.71	0.852
清掃時洗浄水	7ℓ / 7日 / 4 人	0.25
紙 類	10 g / 人 / 日	0.01
おむつ洗浄水	5ℓ / 人 / 日 × 0.034 × 1/2	0.085
経常発生量		1.20
貯留中の減量	10 % 損失率とする	1.08
くみとり時洗浄水	15ℓ / 4人 / 30日	0.13
くみとりし尿		1.21
浄化槽汚泥		
単独腐敗型	0.5ℓ / 人 / 日 普及率 0.107	0.075
単独ばっ気型	0.9ℓ / 人 / 日	
合併式	1.0ℓ / 人 / 日 0.05	0.05
投入し尿	1.21 + 0.125 × (1/0.562)	1.43

表Ⅱ 3-11 くみとりし尿,投入し尿の N , P 濃度試算

	発生し尿	家庭内 し尿	くみとり し尿	浄化槽汚泥		投入し尿
				単 独	合 併	
水量原単位 (ℓ / 人 / 日)	1.2	0.85	1.21	0.7	1.0	1.43
N 原単位 (g / 人 / 日)	10	7.5	6.8 **	0.43	1.20	7.0 *
濃度計算値 (mg / ℓ)			5,600	(620)	(1,200)	4,800
P 原単位 (g / 人 / 日)	0.97	0.76	0.76	0.08	0.40	0.83
濃度計算値 (mg / ℓ)			630	(110)	(400)	570

\* 6.8 + (0.43 × 0.107) + (1.20 × 0.05) / 0.562 = 7.0

0.107: 単独浄化槽普及率 0.05: 合併浄化槽普及率 0.562: 計画収集人口率

\*\* 10%除去 ( ) 濃度実測値

50年のくみとりし尿収集量は1.22ℓ/人/日、し尿処理人口1人あたり投入し尿量は1.43ℓ/人/日であり、この試算が妥当なものであることがわかる。

次に、表Ⅱ3-9、10をもとにして、くみとりし尿および投入し尿のN、P濃度を順次試算していくと表Ⅱ3-11に示すように、くみとりし尿ではN、5,600mg/ℓ、P、630mg/ℓ、投入し尿ではN、4,800mg/ℓ、P、570mg/ℓとなった。

#### (7) 生活下水の処理除去率<sup>12), 13)</sup>

① し尿処理のN、P除去率 著者が調査したし尿処理施設のN、P除去率のデータを表Ⅱ3-12に示す。昭和50年ころの平均的なN、P除去率はN30%、P50%の程度である。最近新設されるし尿処理施設は高度処理がなされ、N、P除去率も非常に高くなっている。図Ⅱ3-5A、Bに、省資源面からみて、効率的な施設と、N、P除去率は高いが、省資源の面からは問題のある施設についてのN、P収支調査の結果を示す。

Pについては除去された負荷はすべて汚泥およびし査に移行するが、Nについては汚泥への移行より、気化損失の形で除去される割合が大きい。

② し尿浄化槽 し尿浄化槽のうち単独浄化槽の場合は流入負荷の把握が困難であり、N、P除去率の推定には、浄化槽汚泥の発生量を参考にすることができる。表Ⅱ3-13には各形式別の浄化槽汚泥の発生量原単位とN、P濃度より、汚泥へ移行する負荷を求め、浄化槽への流入負荷原単位(表Ⅱ3-8)と比較して、汚泥収率を算出している。Pの汚泥収率は、単独式で11%、合併式で27%である。他の調査結果も参考にし、単独浄化槽のN、P除去率はどちらも15%程度であまり良くない。合併浄化槽については、N30~40%、N30%程度の除去率とみてよい。

③ 下水処理場 著者の行った下水処理場N、P収支調査におけるN、P除去率とN、P汚泥収率を他の文献値とともに表Ⅱ3-14にまとめた。平均的にみると、下水処理の除去率はN35%、P40%程度である。Nの汚泥収率は除去率の半分程度で、除去されたNの約半量は気化損失であることを示している。

#### (8) 生活下水の排出負荷原単位

排出負荷原単位は発生負荷原単位に排出率(=1-除去率)を乗ずることによって求め

表Ⅱ3-12 し尿処理場のN、P除去率

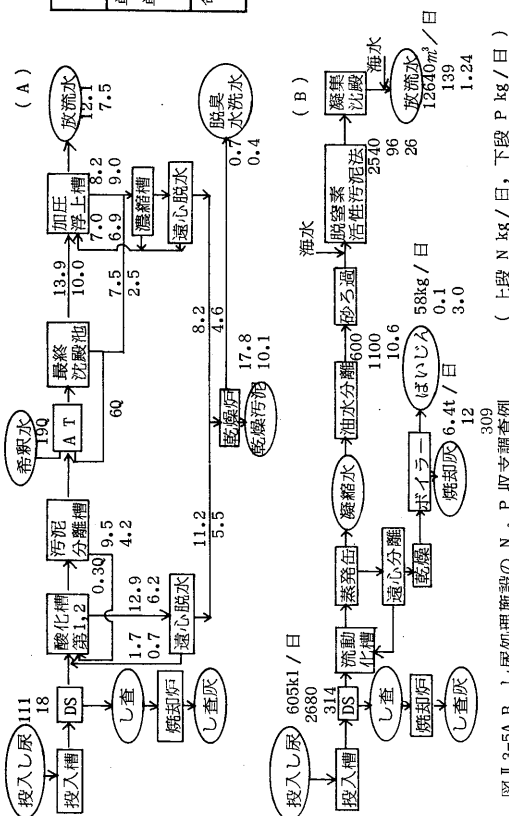
	除 去 率		汚泥ケーキ収率		
	N	P	N	P	
山口県下8処理場、翻50~51年調査 通日12~24回/日	23	49	6.5	38	
双三(改造好気性消化)3回	88	63	16*	54*	乾燥汚泥 焼却灰
H市D処理場 (CGプロセス・脱窒素活性汚泥法)	95	96	0.5	(96)	

表Ⅱ 3-13 し尿浄化槽汚泥の発生・負荷原単位と汚泥収率

	発生量原単位 (ℓ/人/日)	濃度 (mg/ℓ)		負荷原単位 (g/人/日)		汚泥収率 (%)
		N	P	N	P	
単独露気型	0.5	1,070	189	0.54	0.09	6 10
単独曝気型	0.9	370	80	0.33	0.07	
		流入負荷原単位		7.5	0.78	
合併式	1.0	1,200	400	1.2	0.40	13 27
		流入負荷原単位		9.0	1.49	

表Ⅱ 3-15 生活下水の N, P 排出負荷原単位

	発生源数	発生負荷原単位		排出率	
		N	P	N	P
家庭下水					
し尿					
下水処理					
合併浄化槽		7.5	0.78	0.65	0.60
単独浄化槽		〃	〃	0.60	0.70
し尿処理		〃	〃	0.85	0.85
下水道投入		〃	〃	0.8×70	0.50
海洋処分		〃	〃	0.8×65	0.50
自家処分		〃	〃	0.9	1.0
雑排水					
下水処理					
合併浄化槽		1.5	0.73	0.65	0.60
無処理		〃	〃	0.60	0.70
業務下水					
し尿					
下水処理		2.5/a	0.22/a	上に同じ	
合併浄化槽		〃	〃		
単独浄化槽		〃	〃		
し尿処理		〃	〃		
下水道投入		〃	〃		
海洋処分		〃	〃		
自家処分		〃	〃		
雑排水					
下水処理					
合併浄化槽		0.5/a	0.10/a	上に同じ	
無処理		〃	〃		
業務人口		〃	〃		
業務人口		〃	〃		
浄化槽汚泥					
し尿処理		0.85	0.23	0.70	0.50
下水道投入		(kg/ℓ)		0.65	0.50
海洋処分				1.0	1.0
その他				0.2	0.02



図Ⅲ 3-5A, B し尿処理施設の N, P 収支調査例 (上段 N kg/日, 下段 P kg/日)

表Ⅱ 3-14 下水処理場の N, P 除去率

処理場	除去率 (%)	汚泥収率 (%)	備考
宇部市 東部	42	39	4 通日 汚泥の一部そのまま埋立。し尿入る
宇部市 西部	43	69	2 〃 汚泥脱水せずそのまま埋立
大竹市	32	31	1 〃 し尿処理水入る。汚泥は直接脱水
広島市 千田	24	59	2 〃 汚泥直接脱水
江波	55	44	1 〃 し尿、かまぼこ排水入る
長門市 東梁川	32	54	2 〃 中継処理
小郡町 長谷	23	24	2 〃
名古屋市 西山	33	51	通日 兼子ら (1977) 文献 14)
A	24	29	2 〃 亀田 (1976) 文献 15)
B	18	23	2 〃
C	52	36	2 〃
Y	20	32	2 〃
福岡山市	62	26	井前, 下水協誌 14 (157) (1977)
奈良県 浄化センター	52	62	京都府公害対策技術者会誌 (1976)
平均値士	37 ± 14	41 ± 15	毛利ら, 下水協誌 14 (163) (1977)
標準偏差	14	11	

ることができる。表Ⅱ 3-15 に、生活下水についての排出負荷原単位算定表を示した。昼間人口の移動を考慮しなくてもよい場合には、発生負荷原単位は表Ⅱ 3-8 の常住人口に係る生活下水発生負荷原単位として一括すればよい。浄化槽汚泥の処理処分については、さほど大きくはないが、表Ⅱ 3-13 より求めた浄化槽汚泥の加重平均濃度に処理処分量を乗じることにより発生負荷を求め、し尿の場合と同じ排出率を用いて排出負荷を求めればよい。

### 3・2・4 研究結果の考察

ここで、物質収支法を利用して設定した生活下水の N、P 負荷原単位の妥当性を検証するために、従来の実測による負荷原単位報告値との比較照合を行う。

① 表Ⅱ 3-16 は主として住宅団地下水の実測より設定された家庭下水の発生負荷原単位報告値ならびに、家庭下水のうち雑排水による発生負荷原単位の報告値をまとめたものである。家庭下水の N、P 発生負荷原単位の平均値は N 1 0.4 g/人/日、P 1.5 3 g/人/日であり、雑排水の N、P 負荷は N 1.5 g/人/日、P 0.5 8 g/人/日である。雑排水の P は調査年により変動があるので比較がむずかしい。家庭下水合計より、雑排水の負荷を差しひいて、し尿の負荷を求めると、N 8.9 g/人/日、P 0.9 5 g/人/日となっている。

これに対して、先に設定した原単位は、家庭下水合計で N 9.0 g/人/日、P 1.4 8 g/人/日、家庭し尿で N 7.5 g/人/日、P 0.7 6 g/人/日であり、設定値がむしろやや低めの傾向を示している。

② しかしながら、表Ⅱ 3-17 に示したくみとりし尿および投入槽し尿の N、P 濃度と、表Ⅱ 3-11 の同試算値を比較してみると、N、P とも先の家庭し尿原単位より出発して推定した試算値の方が実測濃度より高めの傾向を示している。

実測値のばらつき、くみとりし尿等の分析値が低めの誤差を持っている可能性があることなどを考え合わせ、物質収支法による設定値はほぼ妥当なものであるといえる。

③ 業務人口にかかる生活下水の負荷原単位に関しては、主として建設省によって行われた調査から N についてまとめてみると、表Ⅱ 3-18 のようになり、事務所ビルの業務人口 1 人あたり N 5.9 g/人/日、また中心街の流出負荷量より、常住人口に係る家庭下水の負荷を差しひいて求めた、業務人口あたりの原単位は N 5.4 g/人/日程度の値が得られる。これらを表Ⅱ 3-8 で就業者率 0.4 8 として推定した 6.3 g/人/日と比較するとほぼ近い値となっており、業務人口にかかる汚濁負荷量の把握には先に述べた方法を基本にすればよいことがわかる。

表Ⅱ 3- 16 家庭下水および家庭雑排水の原単位報告例

	調査者	調査時間	水 量 (ℓ/人/日)	発 生 負 荷 原 単 位 (g/人/日)				備 考
				BOD	COD	N	P	
家 庭 下 水	稲場ら	45 年		44	15		1.34	換算人口あたり 第8回下水道研究発表会
	日野市	49	283	61	16	12.8		日水コン技術資料
	千葉県	51	250	52	23	6.0	1.20	千葉県水保研資料 N010 (1977)
	兼子ら	51	106	46	24	10.9	1.70	第14回下水道研究発表会 (1977)
	建設省	53	260	48	25	11.4	2.12	換算人口あたり 下水道部資料
	宮城県	53	217	42	25	12.2	1.24	日水コン技術資料
	名古屋市	50~53	407	55	29	10.7	1.70	土研調査 (西山処理場)
	山根ら	55	179	49	22	8.2	1.21	下水道協誌 18 (210) (1980)
	後藤ら	55	280			10.7	1.69	宇部短大環境科学研究所報告 N02
家 庭 雑 排 水	稲場ら	45	260	33		2.82	0.77	同 上
	粕谷	48		27	14	1.63	0.37	公害と対策 10 (4) 17 (1976)
	農林省	49,50	100	28	20	2.41	(0.50)	( ) PO <sub>4</sub> -P 農林省計画部(1976)
	兼子ら	51	110	31	12	1.16	0.68	同 上
	永島ら	51	140			1.8	0.26	第14回下水道研究発表会(1977)
	宮城県他	52	320	25		1.26	0.87	日水コン技術資料
	宮城県	53	100	19	8	1.62	0.32	〃
	建設省	53		31	14	1.48	0.80	同 上
	広島県	55		31	20	0.56	0.49	広島県水質保全課(1981)
	平間ら	55	150	17	7	0.98	0.42	第15回日本水質汚濁研究会(昭和56年)
	後藤ら	55	240			0.91	0.79	同 上
	本研究	56	340	30	14	1.68	0.62	
平 均	家庭下水 (a)		250	50	22	10.4	1.53	
	家庭雑排水 (b)		190	27	14	1.5	0.58	
	し尿 (a-b)		60	23	8	8.9	0.95	

表Ⅱ 3- 17 くみとりし尿,投入し尿の N,P 濃度

		全蒸発残留物 (%)	TN	TP	
くみとりし尿	宇部市団地 1車 昭和53年	3.22	5,230	665	本研究
	山口市 昭和50年	3.22	5,180	665	〃
	名古屋市 12車 昭和50 ~52年	3.60	5,120	634	兼子(1977) 14)
投入し尿	山口10処理場 昭和50 ~51年	2.29	4,430	519	本研究

表Ⅱ 3- 18 業務人口にかかる生活下水負荷原単位例

		水 量 (ℓ/人/日)	BOD (g/人/日)	COD (g/人/日)	N
市 街 地	4市6ヶ所 n=9	264	27	13	5.4
事務所ビル	n=4~7	147	21.5	8.4	5.9
百貨店 スーパー	n=3	750	103	64	35
常住人口にかかる家庭下水		200	39	24	9.0

(建設省の調査より、常住人口の家庭下水分を差し引いて試算)

### 3・3 工業排水のN、P負荷原単位

#### 3・3・1 研究目的

工業排水の排出負荷原単位の設定は、業種ごとに多様な実態があり、また情報収集上の制約もあって、かなりの困難が伴い、また学問的に体系だった集約を行うのはきわめてむづかしい。本節における研究目的は以下に挙げるとおりである。

- i) N、P関連工業の構造を明らかにして、N、P発生源としての工業の体系化を行う。
- ii) 物質収支法を工程ごとあるいは工場ごとに適用し、N、P排出負荷原単位の精度向上をはかる。

#### 3・3・2 研究方法

研究方法の概略は以下に示すとおりである。

- i) 工業排水の負荷を考える上での問題点を整理してまとめる。
- ii) 製品生産量、原材料消費量に関する統計、各業種の製造工程に関する専門書類、業界誌記事など、物質収支法を適用する上で参考となる情報をできるだけ収集する。また、一部主要な業種については実態調査を行い、必要な情報を補充する。
- iii) 上記の資料をもとにして、N、Pの流れを追いながら、関連する化学工業の構造や消費の状況を明らかにするとともに、各工程ごとに発生負荷原単位や排出率を整理する。
- iv) 全国統計を用いて各工程のN、P排出負荷量を計算、集計し、それを全国の化学工業出荷額で除して、化学工業のN、P排出負荷原単位を求める。またN、Pを含む化学製品の用途別消費量の資料があり、それが他業種の排水負荷としてでてくる場合には、この情報からその業種のN、P排出負荷原単位を求める。
- v) 物質収支法から求めた原単位と実測値を集計整理してまとめた一般的な方法で算出される原単位とを比較対照して検証する。

#### 3・3・3 研究結果

##### (1) 工業排水の負荷算定上の問題点について

① 実測法と原単位法 工業排水は、工場ごとに生産品目、製造方法、排水処理方法が様々であるので、生活下水のように平均的な原単位で一括して取り扱うことはできない。

したがって、負荷量の算定にあたっては、可能なかぎり実測によらなければならないが、対象地域が大きくなると、労力や費用の面から実測法は著しく不利になり、原単位法の併用が必要となってくる。またデータのない過去や将来の推定においては原単位法によらなければならない。原単位法の適用にあたっては、上記の理由から地域性の考慮が十分なされなければならない。

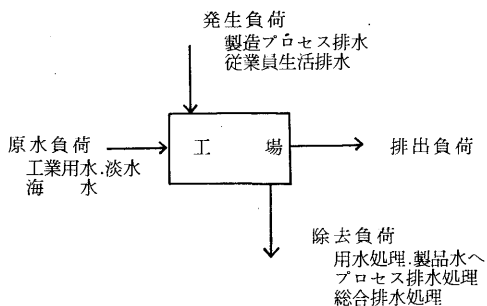
② 原単位の表現 工場排水の負荷原単位の表現としては、a、出荷額あたり、b、

製品あるいは原料 t あたりの 2 通りある。これらはそれぞれ表Ⅱ 3-19 のような特徴をもっている。通常簡便性、普遍性にすぐれる a の方が多用され、環境庁等の原単位もこの表現を使っている。しかしこの場合は、貨幣価値の変化を常に補正して考えなければならない欠点があり、必ず基準年次が明記されていなければならない。

出荷額には製造品出荷額と製造品出荷額等があるが、本研究では後者を用いる。a の方法でよく使われるのは産業中分類別の原単位であるが、中分類業種の中には、N、P 負荷の大きいものから、ほとんど無視できるものまで多様な業種を含んでおり、この構成の違いが、地域差となって表われてくる。実際には地域を小さくとれば、小分類や細分類業種別の原単位が必要となってくる。最近は関係官庁により、細分類別に原単位が整備されつつあるが、公表されないのが普通である。かりにこれらが利用できるとしても、市町村別に細分類業種別の製造品出荷額等の数値をそろえることは、統計の制約上不可能なことが多く、作業の繁雑さもあるので広域を対象とする場合には中分類業種を基本にせざるを得ないのが現状である。

③ 原水負荷および従業員負荷について 工場における汚濁物質の収支は図Ⅱ 3-7 に示すようであるが、従来原単位としてまとめられているのは、排出負荷原単位である。通産省の調査では、発生負荷、除去負荷、排出負荷に分けて原単位をまとめる試みがなされている。<sup>34)</sup> 原水負荷の取り扱いについては、負荷量計算の目的によって変ってくる。たとえば漁業被害の責任寄与を考える場合には、原則としては原水負荷を控除するのが妥当であるが、海域の汚濁計算を行う場合には、海水原水の負荷のみを控除すべきであろう。

従業員の生活下水による負荷は、物質収支法による原単位計算では生活下水の項で計上される。実測値をもとにした工業排水負荷原単位を用いる場合には、原水負荷も、従業員負荷も工業排水負荷として計算されているので、生活下水の一部を二重に計算してしまう



図Ⅱ 3-7 工場における水汚濁物質の収支

表Ⅱ 3-19 原単位表現の二方法の特徴

	出荷額あたりの原単位	原料・生産量あたりの原単位
利 点	①各業種同じ尺度で一応の表現ができる。 ②出荷額のデータも入手しやすく簡便である。	①物質収支的なみかたができ個々のプロセスについては、合理的な原単位が表現できる。 ②物価の変動に影響されない。
欠 点	①たえず物価変動を補正して考える必要があり、複雑な上誤差が入りやすい。 ②原単位の普遍的な値は設定しにくい。	①一工場で複数の生産品目があるとき、工場全体としての扱いが難しい。 ②この方法で全体を完全にカバーすることは困難である。

誤りをする可能性があり注意を要する。

原水負荷や従業員負荷の原単位も、工業統計表より用水使用量原単位や従業員数原単位を求めることができるので、原水濃度や、業務人口にかかる生活下水原単位をそれぞれ乗じて算出できる。

④ 下水処理区域の工場排水 大工場の場合は、直接公共用水域に排水することが多いが、下水処理区域内にある中小工場の排水は、下水道に排出され、下水処理場を経て放流される。負荷量計算において下水処理場放流水の実測負荷を計上する場合、この処理区域内の工場排水の負荷は重複して計算しないよう注意しなければならない。その際、下水処理区域内の工業出荷額を別に知る必要があるが、現状ではそれは困難である。

昭和49年度に通産省が行った調査<sup>34)</sup>より、工場排水の除去率を求めると全体として、BOD62，COD81，N31，P73%という値が得られたが、これらを下水処理場の除去率と比較すると、BODは低め、Pはやや高めであるが、COD，Nはほぼ同程度である。下水処理区域で関係が深いと思われる食料品製造業、化学工業のP除去率はそれぞれ45%，66%であるので、少くともCOD，N，Pについては下水処理区域内外の区別なく、工業排水として一括して計算しても大きな誤差にはならない。

## (2) 物質収支法の適用上の問題点について

先述のごとく、工場排水の負荷を知るには頻度の高い実測によるのがよい。しかし現実には十分な頻度で実測が行われることは稀であり、散発的な調査では実態を正しく把握するのは困難である。したがって負荷の推定には、標準的な発生、排出負荷原単位の知識が必要であり、NやPについては原料、製品の物質収支から排出負荷量を求めることが非常に有効な手段となる。

一般に製造工程中のN，Pの行方は図Ⅱ1に示したとおりであり、製品の収率をよくすることは当然、企業においてきびしく要求されるところである。しかし従来は損失を少くする費用より、それによって得られる利益の方が大きいときのみ実行されるのが一般であった。ここにおいて回収されて製品化されたものが副製品に相当する。公害規制がきびしくなってからは、採算は合わなくても、損失のある部分を回収することも行われるようになった。生産には損失がつきものであるが、収率の向上、回収資源化、処理の方法によって、最終的な排出負荷は大巾に減ずることは可能である。

ここで物質収支の立場から排出負荷の関係を論ずる上での注意点を挙げておくと、

- i) 製品によっては系内保有量、入目（成分量を保証するための正の誤差量）を考慮しておく必要がある。
- ii) Nについては排気損失が無視しえないが、そのうちN<sub>2</sub>ガスとしての損失も多い。



iii) 使用量が大きいと、原料や製品の含量のとり方で物質収支が大きく変わってくる場合があるので、含量の設定は慎重になされる必要がある。

iv) 製品生産量、出荷量の区別を明確にすること、生産の一部が二次製品の原料に使用される場合、この両者は違ってくるので注意を要する。

v) 副生物回収の形で、少量生産される製品も収支に計上すること。

vi) 物質収支から排出負荷絶対値の推定を行う場合には可能なかぎり実測値を対応させて考えるなどの注意が必要である。

このような情報は一般に事業所側に頼らざるをえず、色々な点で困難が伴うものである。また情報はえられても発表の制約を受ける場合も多い。さらに対象が多様多岐にわたり、一般化がむづかしいこともあいまって、従来、この種の報告例は非常に乏しい。しかし合理的な無駄のない対策をたてる場合には、まず正確な実態の把握が必要であり、もっと開かれた議論ができることが期待される。

### (3) 窒素工業の構造

窒素工業の出発点は空中窒素の工業固定による  $\text{NH}_3$  の生産である。この他に石炭や石油に由来する N や、カーバイドと  $\text{N}_2$  の反応で得られるカルシウムシアナミドの N に帰因するものがあるが、それほど大きなものではない。

$\text{NH}_3$  生産量の経年変化を図 II 3-8 に示すが、 $\text{NH}_3$  の生産は昭和 35 肥料年度（昭和 35 年 7 月から 36 年 6 月まで）で 1,255 千 t / 年であったが、その後ほぼ直線的な増加をたどり、昭和 49 肥年には 3,990 千 t / 年と約 3.2 倍の生産量となった。昭和 50 肥年以降は、新興工業国の肥料自給化のために前年に比べて、輸出が N 量で 1,423 千 t から 867 千 t へと激減し、また内需も減反政策の影響などで伸びなやみ、昭和 51 肥年においては、 $\text{NH}_3$  の操業率 66.5%、尿素 43.5% の低迷を示している。それに比較すると工業用の  $\text{NH}_3$  消費は、昭和 47 年ころより若干低下気味の程度で横ばいであり、経年的には工業用のウェイトが高くなってきている。工業用投入量から肥料への回収量を差し引いた純工業用  $\text{NH}_3$  の生産量に対する割合は昭和 42 肥年では 23% であったものが、昭和 51 肥年では 42% を占めるに至っている。

図 II 3-9 は、N 関連工業の相対的な関係を把握するため、諸統計を参照して、窒素工業における N の動きを整理したものである。

N については、誘導品の種類も多様であるため、この段階では最終消費状況については十分な情報は得られないが、肥料が約 1,500 千 t N / 年とアンモニア生産量の約 60% を占め、工業用では、カプロラクタム、アクリロニトリル、工業用尿素、硝酸、メラミンなどへの投入量が多い。最終消費形態としては、化学繊維、合成樹脂が比較的多く、両者

合わせてアンモニア生産量の13%程度を占める。

このような図によって、各工業の相対的な位置づけを知ることができるが、Nの排出負荷を論ずるには、図には表われない小口の工業からの負荷も無視しえない。

#### (4) リン工業の構造

リン工業の出発的はリン鉱石の輸入であり、フロリダ、モロッコ、サハラなどから年間2,000～1,600千tが輸入されている。<sup>16)</sup>リン鉱石のP含量は $P_2O_5$ として34.1～34.9%<sup>19), 20)</sup>程度であり、平均して34.5%程度とみてよい。図Ⅱ3-8にリン鉱石輸入量の昭和35年よりの推移を $P_2O_5$ 量として表わした。

リン鉱石からリン酸を製造する方法は乾式法と湿式法とに大別される。乾式法は電気炉によってまず黄リンを製造し、これを酸化してリン酸を得る。したがって純度が高く、高濃度のリン酸がえられ、食品、医薬、農業等工業用に供される。

これに対して湿式法は、リン鉱石を硫酸で分解し、リン酸と石コウを得るもので、乾式リン酸と比較して純度が劣り、濃度も30%程度のものが得られる。そのため肥料用に用いる場合も濃縮工程を経るのが一般であり、また工業用に用いる場合には何らかの精製工程を経るのが普通である。

昭和50年度の乾式の黄リン生産量は16.3千t Pであり、湿式リン酸は肥料用、工業用合せて21.9千t Pと量的には湿式法が大部分を占めている。<sup>16)</sup>硫酸の代りに塩酸を用いる方法も国内で1工場稼働しており、湿式リン酸であるが、工業用に供されている。

これらの他に、リン鉱石を酸分解、融解、焼成などの処理により、部分的に可溶化して過リン酸石灰、熔成リン肥、焼成リン肥などの肥料に製せられるものが、100～150千t P程度ある。<sup>16)</sup>

リン鉱石の輸入量は昭和35年69.5千t ( $P_2O_5$ として)から、昭和49年1,300千tへと倍増したが、昭和50年以降はアンモニア生産と同様に急減している。リン酸生産量も昭和49肥年の67.5千t  $P_2O_5$ から、昭和51肥年52.0千tと減少している。

リン酸質肥料は窒素肥料と異なり、ほとんどすべて国内消費で最近ではむしろ、リン安過リン酸などの形でかなりの量を輸入するようになってきている。工業用リン酸としては乾式、湿式合せて15.0千t  $P_2O_5$ 程度で、リン酸生産量の29%程度を占める。最近、湿式のウエイトが高まりつつある。

P関連工業の相互の関係を把むため、諸統計を参考にして、昭和50肥年(乾式は会計年度)のリン工業におけるPの動きを図Ⅱ3-10に表わした。<sup>5), 16), 18)</sup>

また図Ⅱ3-11、表Ⅱ3-20は同様に、最終用途に焦点をあてて、昭和52年度におけるPの動きをまとめたものである。肥料が全体の86%と大部分を占めるが、それ以外で

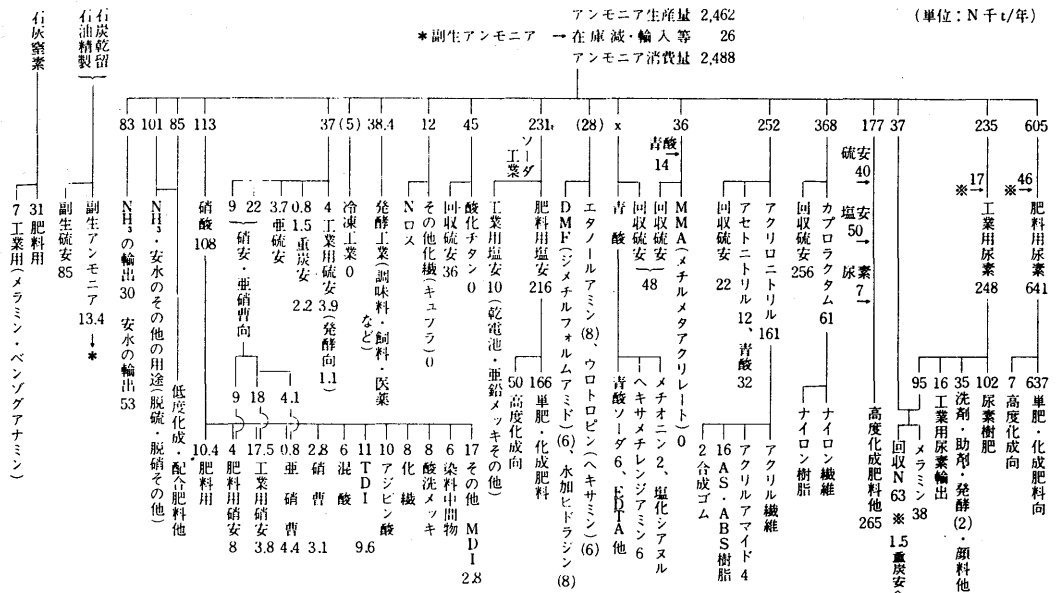
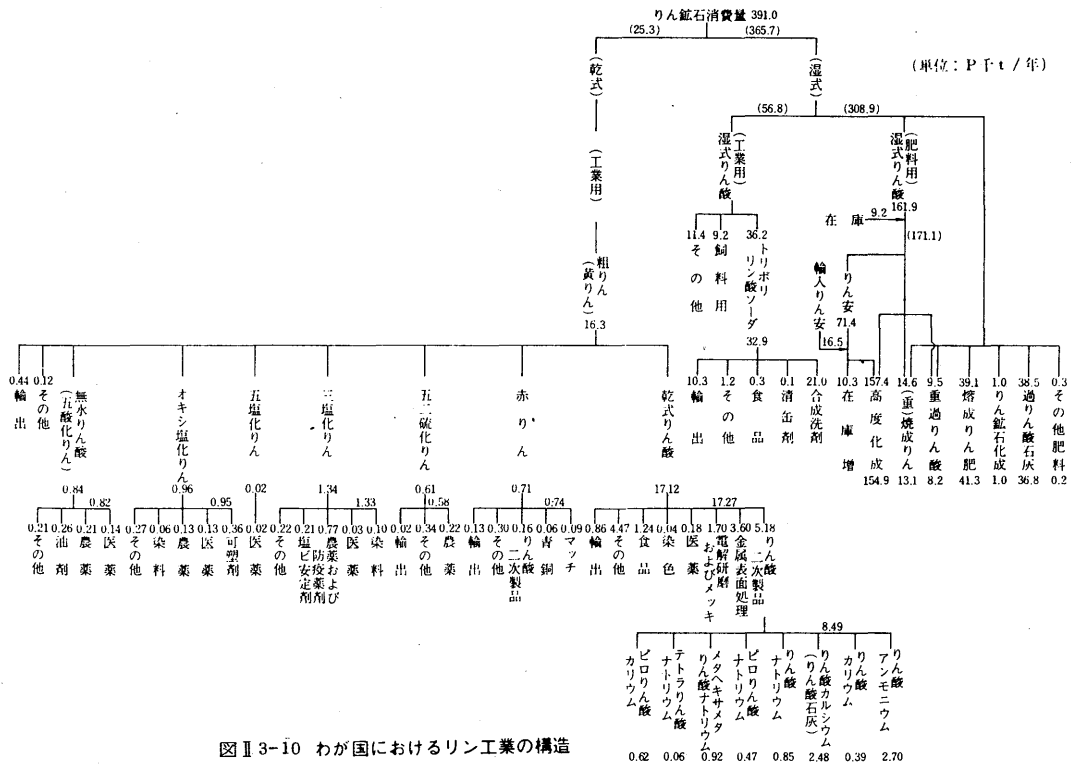
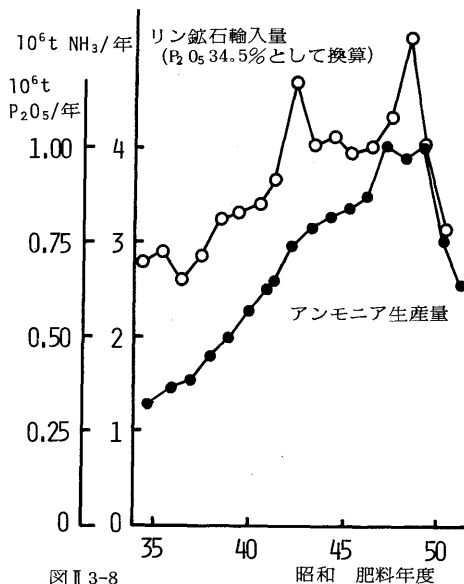


図 3-9 わが国における窒素工業の構造 (昭和50肥料年度)

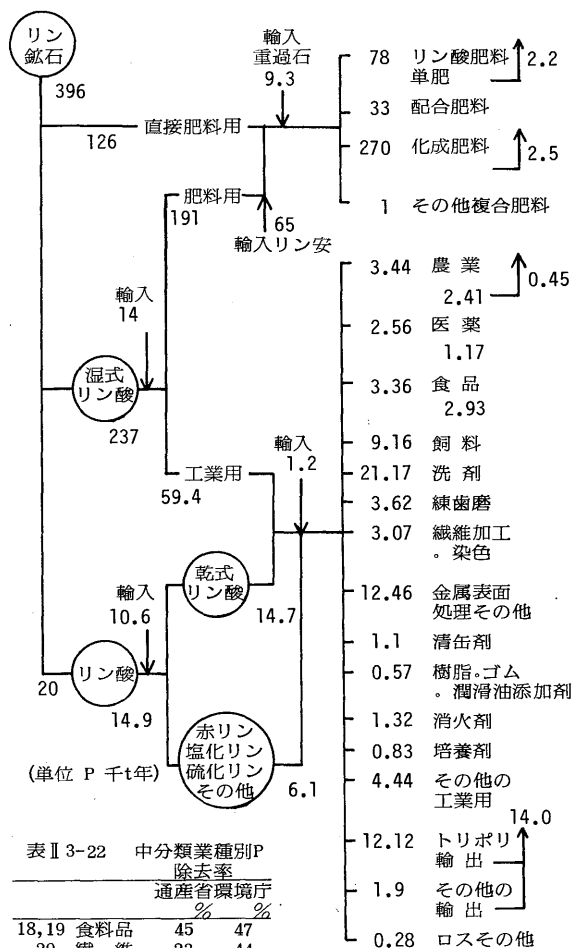




図Ⅲ-3-8 アンモニア生産量およびリン鉱石輸入量の推移

表Ⅲ-20 Pの国内消費状況(昭和52年度)

	国内消費量 (千tP)	肥料含めた内訳 (%)	肥料以外 の内訳 (%)
肥料	377	85.5	—
農薬	2.0	0.5	3.1
飼料	9.2	2.1	14.4
食品・医薬	4.1	0.9	6.4
洗剤・ハミガキ	24.8	5.6	38.8
繊維染色	3.1	0.7	4.9
金属表面処理	12.5	2.8	19.6
清缶剤	1.1	0.2	1.7
樹脂・ゴム・潤滑油	0.6	0.1	0.9
培養剤	0.8	0.2	1.3
消火剤	1.3	0.3	2.0
その他工業薬品	4.4	1.0	6.9
計	440.9	100	100



図Ⅲ-3-11 P関連工業におけるPの動き

表Ⅲ-22 中分類業種別P除去率

業種	除去率 %	通産省環境庁 %
18, 19 食料品	45	47
20 繊維	23	44
24 紙パルプ	82	65
26 化学	66	49
27 石油石炭	95	47
31 鉄鋼	95	61
33 金属	50	55
34 一般機械	33	62
35 電気機械	48	52
36 輸送機械	70	69

表Ⅲ-21 N関連工業のN負荷発生状態

製造工程	製品(備考)
Nを含有する化学物質の生産工程において	尿素、塩安、化成肥料などの肥料 硝酸、硝安などのア系製品
N投入量が製品N量に対して過剰でNの回収が考慮される。	青酸、アクリルニトリル、ベンゾニトリル(アンモキデーション) TDI, MDI, ニトロベンゼン, 硝化綿(混酸ニトロ化) メラミン、ヒドラジン、醗酵化学
脱水剤あるいは分解剤として用いた硫酸の中和のためにアンモニアを加え、硫酸として回収する。	カプロラクタム(製品自身もNを含む) メチルメタアクリルレイト、酸化チタン(廃硫酸の中和) グルタミン酸、りん酸トリエステル(塩酸の中和)
アンモニアや硝酸を触媒的、あるいは消費的に用いる工程で、部分的に回収が考慮される。	銅アンモニア人絹(セルロースの溶融)、ソーダ灰(ソルバー法) アジピン酸(硝酸酸化)、トリポリリン酸ソーダ、炭酸マグネシウム 氷晶石(塩置換) 冷凍工業、ステンレス(酸洗)、酵素(硫酸塩析)

洗剤・歯みがき、金属表面処理、飼料、食品・医薬などが主な用途である。

#### (5) 窒素工業におけるプロセスロス

表Ⅱ 3-21 は N 負荷の大きい主要業種について、N 負荷の発生機構の違いによって分類分けを行ったものである。それらは製品そのものが N 含量の高い物質である場合、硫酸や塩酸の中和剤として  $\text{NH}_3$  を用いる場合、 $\text{NH}_3$  や硝酸を触媒的あるいは消費的に用いる場合に大別できる。

たとえば、カプロラクタム、アクリロニトリル、TDI、メラミン、ヒドラジン、シアニ化水素などは製品に固定される N に比して過剰の N が用いられ、損失率も大きい傾向を示す。酸化チタン、カプロラクタム、スルファミン酸、メタクリル酸メチル (MMA) などの製造においては、廃酸の中和回収のために多くの  $\text{NH}_3$  が用いられる。硝酸はニトロ化、硝酸酸化などに用いられ、どちらも損失が大きい。ステンレスの酸洗に用いられる硝酸や、発酵用途の N もかなりの負荷発生源となろう。

巻末の資料 1 は成書<sup>18), 19), 20), 21)</sup>に記されている各製品の原単位や収率から、N 損失率を計算した結果を示したものである。後節で例を示すような方法で各工程の物質収支を検討した成果も併せて同表にまとめておく。表中本研究と記したものがそれであるが、詳細については割愛し、結果のみを記している。

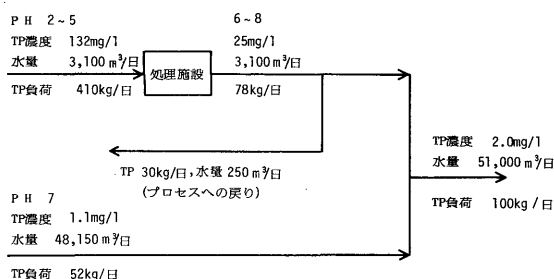
#### (6) リン工業におけるプロセスロス

P は N に比して、排気損失も少く、溶解性も小さく、概して N よりも排水損失率は小さい。巻末資料 2 は成書<sup>18), 19), 20), 21)</sup>に記されている原単位より P 損失率を計算したものである。この損失すべてが排水にでるわけではなく、石コウや副産リン肥などとして一部は回収され沈殿処理等を経て、排出率は改善される。

大規模なソーダ工場の沈殿池では 95 ~ 99 % の P 除去率、中和沈殿処理で 80 ~ 85 % 程度の除去率である。化成肥料協会が瀬戸内海沿岸の 12 工場についてまとめた資料によれば、負荷発生以降の平均的な P 収支の状況は図Ⅱ 3-12 のようであり、処理施設における除去率は 82 %、冷却水系統を含めた総合的な除去率は 78 % となっている。

中分類業種ごとに P の除去率を、通産省環境庁の調査をもとにして整理してみると表Ⅱ 3-22 のようになり、化学工業の P 除去率は前者で 66 %、後者で 49 % となっている。

他の業種の P 除去率も、環境庁の調査では 50 % 前後のものが一般的である。



図Ⅱ 3-12 瀬戸内海沿岸 P 化成肥料工場の平均的 P 収支 (化成肥料協会)

# (7) 塩安・ソーダ灰工程のN収支

以下、2、3の工程を例にとって、物質収支法により、製品生産量あたりの排出負荷原単位あるいは投入量に対する排水損失率を求めた結果を示す。

ソーダ灰はアンモニアソーダ法と塩安併産法で生産されている。外国では前者の方が多いが、海に面したところ以外では大量の塩化カルシウムを廃棄しなければならないため問題がある。わが国では塩安併産法が多く行われる。その製造工程は図Ⅱ 3-13 に示すとおりであるが、併産率100%とすることは水バランスなどの点から無理なので、一部アンモニアソーダ法が行われる。すなわち重曹母液の一部はとり出し、アンモニアは石灰乳を加えて蒸留回収し、さらに必要に応じて塩化カルシウムを副品として得る。

アンモニアソーダ法では $\text{NH}_3$  3kg/t  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 程度消費され、ほぼそのまま損失となる。一方塩安併産法では、2～3%程度の損失がある。これら損失の発生工程はプロセスの違いにより若干異なるが、主

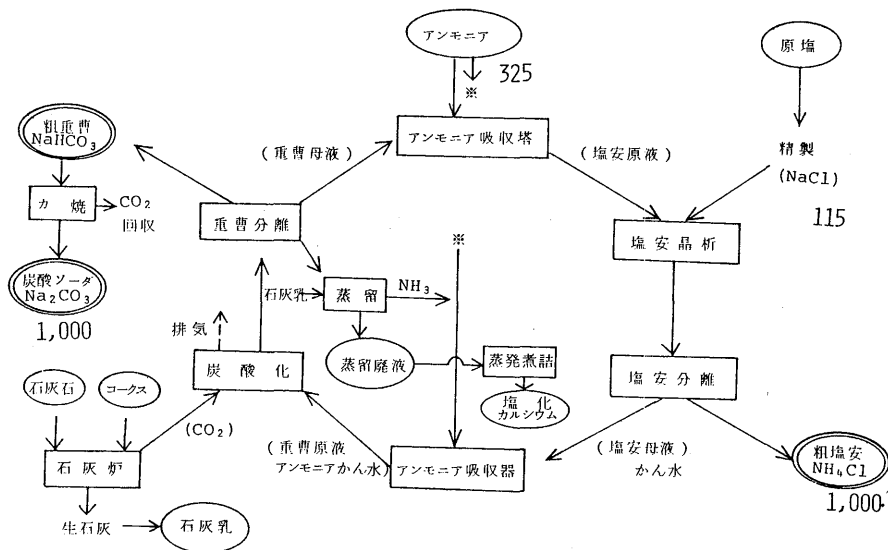
要なものは表Ⅱ 3-23 に示すとおりである。排気については悪臭防止法の規制に関連するので、どちらかという排気対策が先行したが、最近では排水の $\text{NH}_3$ の蒸留回収も強化され、結局全体の損失率の改善が見られるようになってきている。

表Ⅱ 3-23 ソーダ灰塩安併産法のN発生源と対策

排気	炭化塔 アンモニア吸収塔 開口部 塩安乾燥炉	排ガス " 放散ガス 排ガス	} アンモニア回収塔 により回収  バッグフィルター
排水	重曹焼成炉 塩安減圧晶析 アンモニア蒸留塔 その他	炉ガス処理水 コンデンサー海水 蒸留廃液 排ガス洗浄水	

この業種は物質収支が単純であり、表Ⅱ 3-24 に $\text{NH}_3$ の投入と $\text{NH}_4\text{Cl}$ の生産量より物質収支をとった例を示す。このように損失量を適当な方法で排水損失と排気その他にわりふれば、データのなかった過去の排出負荷の推定もある程度可能になる。ただ、絶対的な値を設定するにあたっては、先述したように必ず実測値を参考にして、十分慎重になされなければならない。

表Ⅱ 3-25 は排水の実測データより、N使用量に対する排水損失率を3工場についてみたものであるが、いずれも近年かなりの低減がみられ、昭和51年度では0.62～1.1%の値を示している。図Ⅱ 3-14 は2工場の例について、ソーダ灰あたりのN損失量、Nの損失率などの計算例を示したものである。塩安は腐食性が強いということで、特に結晶缶付近での腐食が著しく、装置が古くなれば損失率が増加し、改修によって低下する傾向がみられるようである。排気、排水への割りふりについては、A工場では排気2、排水3、B工場では排気3、排水2の程度で、両者は相半ばしている。



Ⅱ3-13 ソーダ灰製造工程（塩安併産法）

表Ⅱ3-24 塩安ソーダ灰のN収支例

昭和 年度	NH <sub>3</sub> 生産量 t	NH <sub>3</sub> 消費量 t	系内 保有量 t	同左 増加量 t	NH <sub>4</sub> Cl 生産量 t	NH <sub>4</sub> Cl NH <sub>3</sub> 量 t	NH <sub>3</sub> 損失量 t	損失率 %	N 損失量 N t/日	N排出 負荷 N t/日
44	55,771	58,293	1,260	4	179,826	57,238	1,051	1.80	2.37	(0.78)
45	54,625	59,322	1,278	18	182,206	57,996	1,308	2.20	2.95	0.91
46	52,904	56,256	1,272	-6	172,965	55,054	1,208	2.15	2.72	0.58
47	57,299	62,394	1,298	26	190,361	60,592	1,776	2.85	4.00	1.27
48	55,275	62,182	1,320	22	189,127	60,199	1,961	3.15	4.42	1.54

( )推定値

表Ⅱ3-25

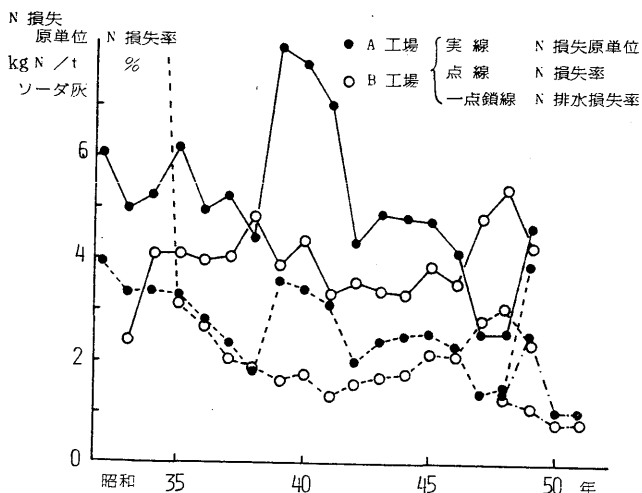
ソーダ3工場のN負荷推移

工場		会計年度			
		48	49	50	51
A	Lo	147	152	142	88.1
	L	2.1	3.9	1.5	0.96
	L/Lo	1.5	2.6	1.1	1.1
B	Lo	142	132	126	87.9
	L	2.0	1.5	1.0	0.76
	L/Lo	1.4	1.1	0.80	0.86
C	Lo	203	219	187	222
	L	3.2	1.8	1.5	1.4
	L/Lo	1.6	0.81	0.78	0.62

Lo: NH<sub>3</sub>-N 使用量 (t/日)

L: 排出負荷 (t/日)

L/Lo: 排水損失率 (%)



図Ⅱ3-14 ソーダ灰（塩安併産法）工場のN損失原単位、N損失率の経年変化

# (8) TDI, MDI

TDI (トルエンジイソシアネート), MDI (ジフェニルメタンジイソシアネート)はポリウレタン樹脂の原料として、徐々に生産量が伸びている。<sup>22)</sup> TDI向の硝酸の投入原単位は年々低下し、昭和44年度 1.5 t / t TDI から、昭和51年度では 0.86 t / t (いずれも 98% HNO<sub>3</sub>) となっている (表 II 3-26)。

TDI, MDIの生成フローシートは図 II 3-15に示すとおりであるが、各段階での収率は昭和48年頃のある工場の例では表 II 3-27のようになっている。総合収率でみると、TDI tあたりのHNO<sub>3</sub>必要量は 1.006 t / t で、収率は 71.9% であり、MDI tあたりのHNO<sub>3</sub>必要量は 0.577 t / t で、N収率は 90.4% である。

図 II 3-16はTDI, MDIの製造工程と主な負荷発生過程を示したものである。ニトロ化工程の廃酸分離後の中和洗浄排水、還元工程の反応水などが主要な廃水で、水蒸気蒸留によって、CODの回収除去が行われている。

N収支の概算をしてみると、投入がHNO<sub>3</sub>, アニリンを合わせて、9.7 t / 日、製品に 6.9 t / 日、蒸留残査に 1.8 t / 日、処理後放流水に 0.4 + α t / 日 (α: 有機性N分)、廃酸に 0.2 t / 日となっている。工程数が多いだけに蒸留残査等への損失がかなり大きい。

# (9) ステンレス酸洗

鋼の高温加工や焼鈍によって金属表面に生じたスケールは、一般に塩酸や硫酸による酸洗によって除去される。普通鋼の場合は、安価な硫酸が用いられることが多いが、ステンレス鋼のような場合は一般に硝酸、弗酸が用いられる。

冷延製品の原単位は 4.8 kg N / t, 熱延製品の原単位は 1.9 kg N / t とされている。全国統計でみると、酸洗メッキ用のHNO<sub>3</sub>使用量は昭和45年度で 16.2 t N / 日、特殊鋼 tあたりでは 0.53 kg N / t, 特殊鋼冷延製品 tあたりでは 8.6 kg N / t 程度の原単位になる。また昭和50年度のHNO<sub>3</sub>の使用量は 20.0 t N / 日で、このうちかなりの部分が排水中にでてくると考えられる。

ある工場の実績を表 II 3-29に示すが、ここではHNO<sub>3</sub>使用量の73~80%が排水中に出ることになり、残りは大気中に NO<sub>x</sub> あるいは N<sub>2</sub> として放出される。

現在は溶媒抽出法による酸回収が実施され、昭和55年度 1.0 t / 日、昭和56年度 0.6 t / 日程度の排水負荷にまで改善されている。

表 II 3-28 ステンレス酸洗によるN負荷例

昭和 年度	HNO <sub>3</sub> 使用量 N t / 日	排水負荷 N t / 日	排水率 %
45	1.786	1.42	80
46	1.637	1.23	75
47~48	2.055	1.50	73
49	1.707	1.54	80



TDIの  
硝酸使用  
原単位の推移

昭和 会年	TDI 生産量 t	TDI 向 硝酸t (98%換算)	硝酸 TDI
44	32,862	49,293	1.50
47	50,795	62,669	1.23
49	47,602	43,073	0.90
51	63,795	54,912	0.86

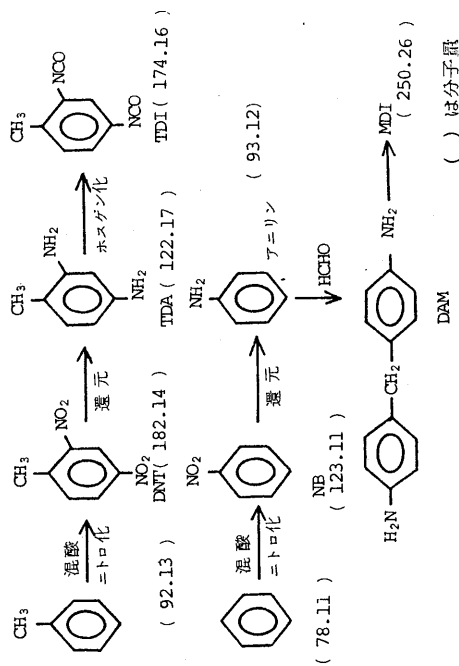
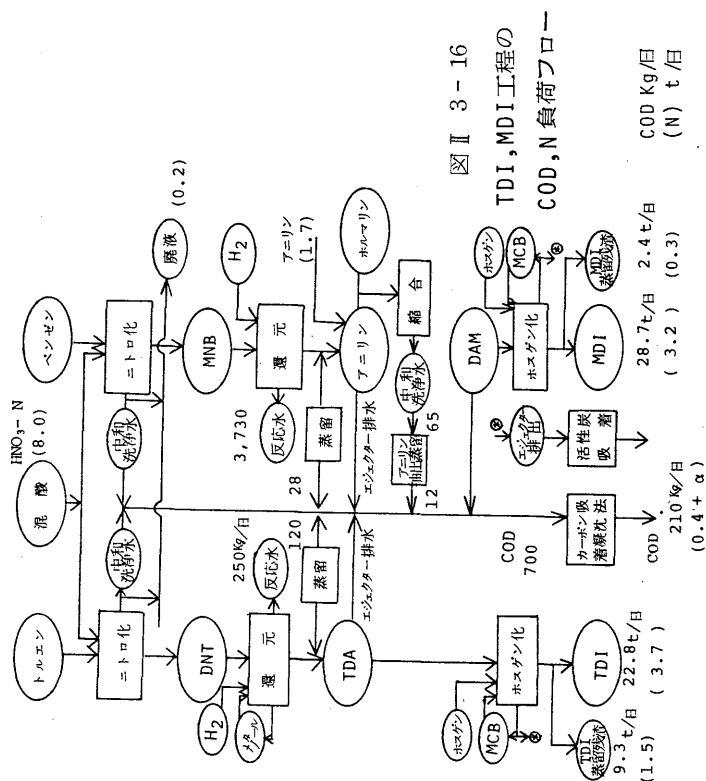


図 I 3-15 TDI, MDI の生成フローシート

表Ⅱ 3-27 TDI,MDI のN収率例

	原 単 位 t/t	理 論 値	実 績 値	N 収 率 (%)
TDI	ニトロ化		0.692	0.73~0.74
	還 元		1.491	1.53~1.57
	ホスゲン化		0.701	0.88
	計		0.723	1.006
MDI	ニトロ化		0.512	0.520
	還 元		1.322	1.34
	縮合・ホスゲン化		0.744	0.800
	計		0.504	0.557



3-16

TDI,MDI工程の  
COD・N負荷フロー

(10) 物質収支法による化学工業等のN、P排出負荷原単位

以上述べてきたように、物質収支法は工程単位、工場単位の排出負荷の推定にも利用できるわけであるが、ここでは他の利用法として、これまでの情報を総合して、化学工業等のN、P排出負荷原単位を設定した結果について述べる。

まず表Ⅱ 3-29は昭和52年時点のN関連工業について、各工程ごとにNの使用量と排出率を乗じて求めたN排出負荷を集計し、それを関連する中分類業種にまとめて、全国の製造品出荷額等で除することにより、排出負荷原単位を計算したものである(巻末資料3)

化学工業については、N 2.5 kg/日/億円/年の原単位が得られた。化学工業はことに業種が多様であり、実測値より一般的な原単位を設定することは困難であるので、このような方法は非常に有効である。

同様な方法で、昭和52年のPについて、化学工業、繊維工業、金属表面処理工業(便宜的に中分類番号33の金属製品製造等から37の精密機械製造業を合わせたものとする)について、P排出負荷原単位を算出した結果を表Ⅱ 3-29に示した。化学工業では0.12 kg/日/億円/年、繊維工業では排出率0.7として、0.082 kg/日/億円/年、金属表面処理では、排出率0.5として0.027 kg/日/億円/年の値が得られた。

表Ⅱ 3-29 主要業種のN,P 排出負荷原単位推定値 (昭和52年)

N		化学工業	食品工業	金属表面 処理工業	P		化学工業	繊維工業	金属表面 処理工業
	アンモニア生産 および工業用途	183.6	30.8	2.4		湿式りん酸生産 および肥料	5.42	—	—
	硝酸工業用途	59.4	—	14.6		湿式りん酸 その他用途	2.05	1.59	4.54
	その他ア系製品 工業用途	37.0	0.7	8.6		乾式りん酸および 2次製品の生産	3.12	—	—
	アンモニア等 肥料製造用	31.2	—	—		乾式りん酸および 2次製品の用途	3.74	4.19	10.80
	排出負荷 計 (t/日)	331.2	31.5	25.6		清 缶 剤	0.84	0.10	0.18
	製造品出荷額等 (百億円/年)	1,250	1,859	5,708		排出負荷 計 (t/日)	15.2	5.9	15.5
	排出負荷原単位 (kg/日 /億円/年)	2.5	0.16	0.045		製造品出荷額等 (百億円/年)	1,250	717	5,708
	備 考		主として 大手工業	N033 ~37		排出負荷原単位 (kg/日 /億円/年)	0.121	0.082	0.027
						備 考		排出率 0.7 として	排出率 0.5 として

## (II) 石炭その他に由来するN、P関連工業の排出負荷原単位

### ① 石炭乾留工業

石炭には0.5～2.0%程度のNが含まれており、これを0.85%として、昭和50年度の石炭需要量<sup>23)</sup>8,200万t/年を乗じると、70万tN/年(1,900t/日)となり、同年度のNH<sub>3</sub>生産量281万tN/年と比較しても1/4程度の大きいものである。これが燃料として用いられたときは、20～50%の転化率でfuel NO<sub>x</sub>が生成し、残りの大部分<sup>24)</sup>はN<sub>2</sub>に戻る。しかし石炭需要量の80%強を占める石炭乾留の場合には、ガス液として大量のN負荷が発生する。

石炭を乾留すると、コークス、石炭ガス(COG)、タール、粗軽油、ガス液(安水)が生成するが、これらの収率は製造条件により異なり、ガス液の収率は、ガス製造の場合7～10%(対石炭)、コークス製造の場合、7～8%である。

石炭中のNは環状有機塩基の形で存在するが、乾留により熱分解し、NH<sub>3</sub>、CN、SCN、遊離塩基などの形でCOGやガス液中に出てくる。このCOGやガス液の処理方式を分類すると表II 3-30のようになる。

COGには10g/Nm<sup>3</sup>程度のNH<sub>3</sub>が含有され、燃料として利用するにはこれを除去しなければならないが、従来は硫酸で中和して、硫酸を回収する方法がとられてきた。とくに都市ガスの場合には、さらに水洗浄などによって0.2g NH<sub>3</sub>/Nm<sup>3</sup>以下にしなければならない。近年製鉄所においても、公害規制の強化とともに、COGの精製さらには、ガス液のスチームストリッピングによるN除去も行われるようになってきている。しかし硫酸は市場性が不安定なため、最近ではNH<sub>3</sub>そのものとしての回収、あるいは回収したNH<sub>3</sub>を焼却して熱エネルギーのみ回収する方式も増えている。これらの状況は表II 3-31の統計数値にもよく表われている。昭和51年においては、硫酸およびNH<sub>3</sub>の形で回収されたNは原料炭中のNの約19%にあたる。図II 3-17に、例として2工場の、COG、ガス液<sup>35)</sup>の処理方式を示す。

表II 3-32はこれまでの知見を参考<sup>19), 26), 27)</sup>にして、石炭乾留におけるN収支を推定した結果である。N<sub>2</sub>ガスに戻るものを無視すれば、石炭中のNの約60%がコークスに、約2%がタールに、残り40%弱がCOGに移行するが、硫酸やNH<sub>3</sub>として回収されるものはその約半分である。

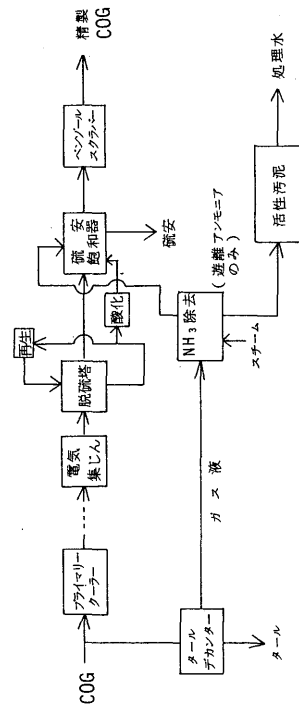
最終的に排水に出てくるN排出負荷原単位は、原料炭のN含量や処理方式の違いによりかなりの幅があり、0.2～1.0kg N/t石炭、あるいは0.3～1.4kg N/tコークスの程度の値を示す。

石炭乾留は先述したように、中分類業種では鉄鋼業、石油・石炭製品製造業、ガス供給

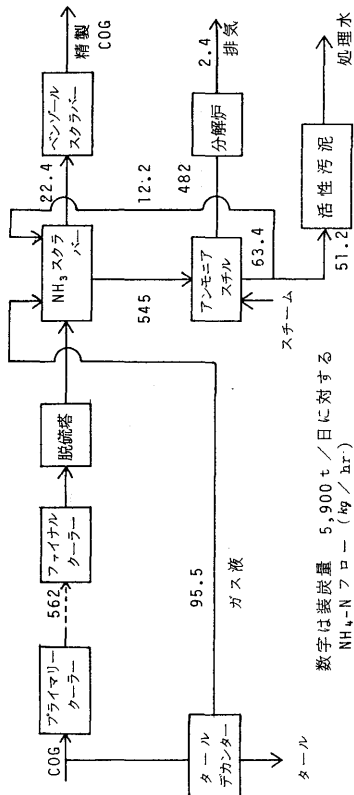
表Ⅱ 3-30

石炭乾留工程の  
N除去の諸パターン

COGの処理	ガス液の処理
A1 硫安による回収	B1 中和のみ
A2 NH <sub>3</sub> の回収	B2 活性汚泥法
A3 NH <sub>3</sub> の分解 (熱のみ回収)	B3 NH <sub>3</sub> スチル →活性汚泥法
	1 硫安回収
	2 NH <sub>3</sub> 回収
	3 NH <sub>3</sub> 分解熱 回収



図Ⅱ 3-17a ガス液発生処理フローシート (A 広畑)  
A1 - B31



数字は装炭量 5,900 t / 日に対する  
NH<sub>3</sub>-N フロー (kg / hr)

図Ⅱ 3-17b ガス液の発生・処理フローシート (A 大分)  
A3-B33

表Ⅱ 3-31 コークス、副生硫安生産量等の推移

昭和 年度	原料炭 (千 t)	コークス 生産量 (千 t)	コークス 収率	副生硫安 生産量 (千 t)	硫安 原単位 (kg / t コークス)	アンモニア 回収 (千 t)	回収 N 量 (千 t)	N 回収 原単位 (kg / t 石炭)
35	18,465	12,723	0.689	182	14.3	0	38.2	2.1
40	28,539	19,761	0.692	283	14.3	0	59.4	2.1
45	61,393	43,407	0.707	497	11.4	0	104.4	1.7
50	70,714	50,973	0.721	400	7.7	21.79	101.9	1.4
51	69,862	50,142	0.718	(433)	8.6	23.11	110.0	1.6
備考	一般炭以外の石油コークス、ピッチ等の原料も含む。 石炭コークス統計年報告 (会計年度) (見通し 化学工業年鑑 (肥料年度) ア系製品 年鑑 (会計 年度) 硫安、アン モニアの N 合計							

表Ⅱ 3-32 石炭乾留における N の挙動

原料炭装入量 t あたり kg	コークス kg	ターナル kg	COG Nm <sup>3</sup>	硫安 kg	ガス液 Nm <sup>3</sup>
N 濃度	0.7 %	0.19 %	10 g NH <sub>3</sub> / Nm <sup>3</sup> x 0.25	21 %	6 g / l
原単位 Nkg / t 石炭	5.0	0.2	0.7	2.1	0.5*
N の行方の 割合 (%)	59	2	8	25 (19)*	6
備考	除去率 NH <sub>3</sub> 分解 分を除く 除去率 を考慮				

業に属するが、計算精度向上のためには、少なくともNについては、コークス生産量の分布もわかるので、コークス1あたりの原単位を用いた計算を行うべきであろう。したがって、石油・石炭製品製造業についても2分して、計算する必要がある。

## ② 石油精製業のN排出負荷原単位

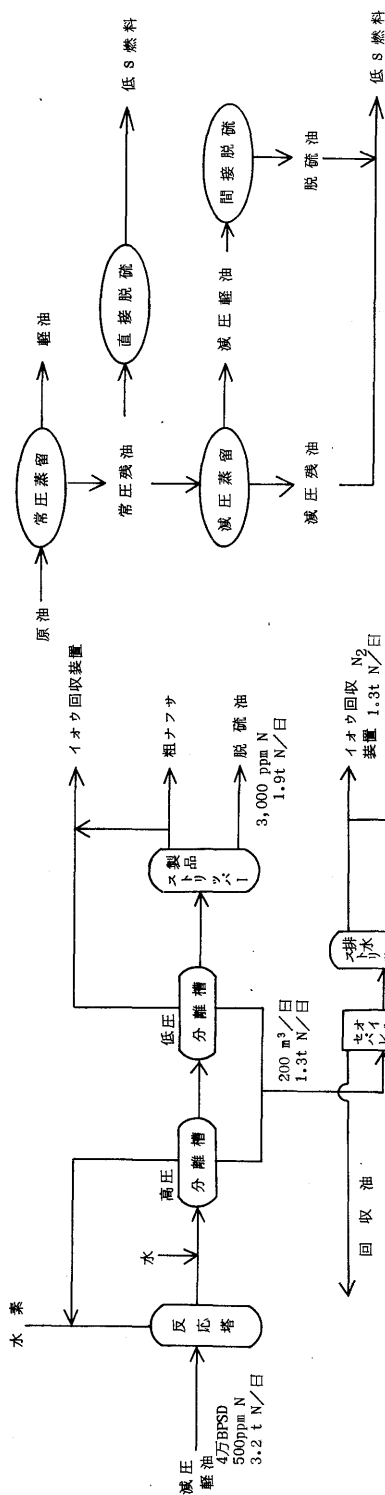
石油中には0.1～0.3%のNが含まれている。<sup>24), 28), 29)</sup> 輸入割合を考慮して、0.17%を平均的なN含量とすると、昭和50年度の原油供給量<sup>30)</sup>に対し、 $263 \times 10^6 \times 0.78 \times 0.17 = 3.9$ 万tN/年(1.070t/日)となり、石炭の場合の約半分、同年度のNH<sub>3</sub>生産量のN量の15%に相当する。

石油精製の過程においては、重油以下の重質区分の方にNが濃縮し、ナフサなど軽質区分にはほとんどNは含まれない。

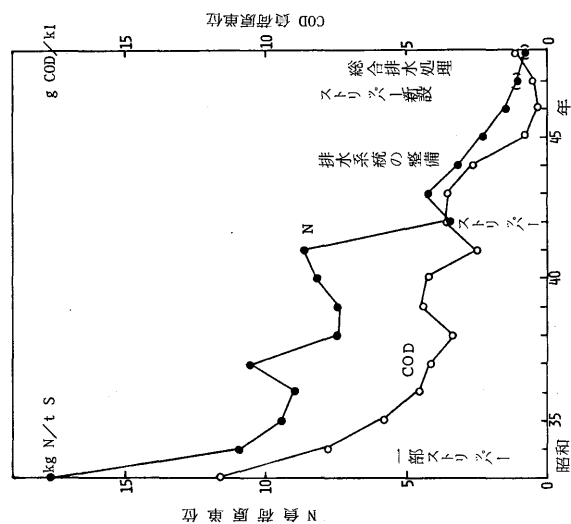
N負荷の大きいプロセス廃水は重質油水素化精製、潤滑油水素化精製、流動接触分解などから発生する。それらのN負荷は常圧蒸留塔の塔頂に腐食防止のために注入されるアンモニア以外は石油中のNが水素化反応により分解生成するNH<sub>3</sub>に由来する。すなわち、このNH<sub>3</sub>が共存するH<sub>2</sub>Sと反応して、水硫化アンモン、多硫化アンモンが生成し、これによるファウリング防止のために水を注入して除去する。その際発生する臭水にN負荷の大部分が帰因するわけである。

近年、大気汚染防止のために低S重油の需要が大となり、重質油の脱硫が増加し、それに伴って、プロセス廃水のN負荷も非常に大きなものとなっている。しかしながら、直接脱硫プロセスを有する製油所でも排出負荷が100kgN/日を越えるところはほとんどない。この理由は、アンモニアを含むプロセス廃水を油水分離後、スチームストリッピングにかけ、効率的にCOD、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>Sなどの除去が行われていることによる。H<sub>2</sub>Sはイオウ回収装置でクラウス反応により、Sとして回収される。一方NH<sub>3</sub>は高純度無水アンモニアとして回収するか、硫安として回収される場合もあるが、多くの場合は酸性アンモニアガスとして、H<sub>2</sub>Sとともにイオウ回収工程へ導かれ、クラウス反応に準じた反応でN<sub>2</sub>ガスに転化して放出される。

図Ⅱ3-18 aに間接脱硫、図Ⅱ3-18 bに直接脱硫のN収支例を示した。石油精製業のN排出負荷原単位は、上述したようにN負荷のほとんどが、脱硫に伴って発生することから、硫黄生産量あたりで表現するのが合理的である。図Ⅱ3-19は灯・軽油水素化精製、流動接触分解を有する製油所のN排出負荷原単位を硫黄生産量あたりで、CODを通油量あたりで表現した原単位の推移を示したものであるが、処理施設整備状況によく対応していることがわかる。したがって石油精製業については、硫黄生産量あたりのN排出負荷原単位を用いて排出負荷を計算するのがよい。ただし原単位自体は上述した理由であまり大きい



図II 3-18c 重質油の脱硫



図Ⅱ3-18a 間接脱硫のN収支推定例

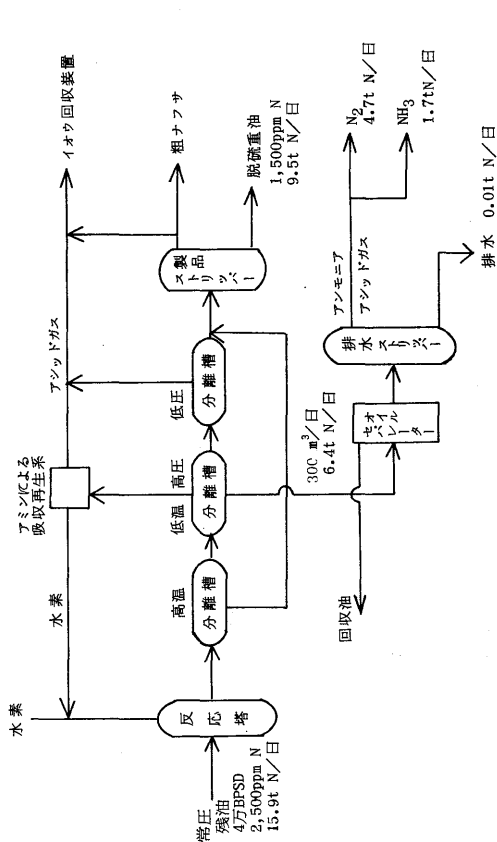
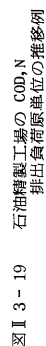


図 3-18b 直接脱硫の N 収支推定例



ものではなく、 $0.2 \sim 5 \text{ kgN} / \text{t S}$ の程度である。

原油中のNの各石油製品への移行状況は表Ⅱ 3-33に示すごとく、原油中のN量の約半分強はC重油に行き、アスファルト7%，B重油5%がそれに次いでいる。製品の計は $646 \text{ t N} / \text{日}$ 程度となるが、これにプロセス廃水を経由して燃焼除去される分を15%として、 $133 \text{ t N} / \text{日}$ を加算して $780 \text{ t N} / \text{日}$ となり、残りは製油所の自家燃料の消費、あるいは精製時の脱窒による損失と考えることができよう。この石油製品はほとんど燃料として用いられるので、これらN負荷が直接水系に影響することはない。ただアスファルトは0.5%程度のNを含んでおり、それらが難分解性のものであれば、路面排水としていくらかのNやCOD負荷に寄与する可能性がある。

### ③ その他天然有機物を原料とする工業

その他N、P負荷の大きな発生源を構成するものに、天然有機物を原料とする工業を挙げなければならない。主要なものとしては、食料品製造業、皮革工業、天然繊維工業、紙パルプ工業などである。これらについては一部、Ⅱ-2章にもふれており、ここでは記述は割愛する。

#### 3・3・4 研究結果の考察

工業排水のN、P負荷を精度よく計算することはそう容易なことではないが、工業排水の負荷量を求める場合、基本的なやり方として以下の手順を踏むことが合理的であろう。

i) 実測値があればその精度に応じてこれを利用する。ii) 主要な業種については物質収支法に基づく、生産量あるいは原料使用量あたりの排出負荷原単位を用いた原単位計算によって求める。iii) 残りの小口の業種については中分類ごとにまとめた製造品出荷額等あたりの排出負荷原単位を用いた原単位計算によって求める。

物質収支法はi)～iii)のいずれの場合にも有用であるが、ちなみに、iii)の原単位の設定に関して、先の表Ⅱ 3-29で求めた原単位と、環境庁や運輸省の実測調査から算出した<sup>31), 32), 33), 34)</sup>原単位を比較してみると、表Ⅱ 3-34のようになる。実測をもとにした原単位はそれぞれ相当数の試料について平均したものであるが、業種によっては調査ごとにかんがりの差がある。化学工業については物質収支法により推定した排出負荷原単位は $\text{N } 2.5 \text{ kg} / \text{日} / \text{億円} / \text{年}$ 、 $\text{P } 0.12 \text{ kg} / \text{日} / \text{億円} / \text{年}$ で実測値からの原単位と比較すると、Nではやや大、Pではやや小さめとなっている。物質収支法では排出率のとり方になお検討の余地があり、後者では個々の実測値のばらつきが大きい問題点があるが、いずれにしても、比較的少ない労力でこの程度の原単位が推定できることは、物質収支法の有用性を示すものである。金属表面処理工業、繊維工業については、排出率のとり方よりも、用途別消費量のその他用途分のわりふりに検討の余地があるが、これも実測値からの原単位と比較して

ほぼ妥当な値となっている。

個々の工場の調査を行うにあたっては、本節で述べたような物質収支法を適用していくことが非常に有効であることは論をまたないが、廃棄物やひいては製品そのものの行方についても注意を払う必要がある。たとえば表Ⅱ 3-11 から、生活下水関連の P 化合物の消費量を 1 人 1 日あたりで表わすと、表Ⅱ 3-35 のようになり、昭和 52 年においては合わせて、 $0.69 \text{ g/人/日}$  である。このうち食品、医薬は  $0.1 \text{ g/人/日}$  程度であり正味摂取量約  $1 \text{ g/人/日}$  の 10% を占めている。これらは家庭下水あるいは業務下水の P 負荷の一部を構成し、これらの検討はその面でも有用な情報を提供する。

表Ⅱ 3-33 石油製品中の N の分布 (昭和47年度)

	生産量	比重	N含量 %	N t/日
原油処理量	219,029 千t	0.870	0.17	888
灯油	16,979	0.804	0.01	4
軽油	14,489	0.836	0.05	17
重油 A	14,157	0.881	0.03	10
B	11,451	0.922	0.15	43
C	93,094	0.954	0.20	487
潤滑油	2,455	1.0	0.10	7
アスファルト	4,578 千t		0.5	63
石油コークス	(919*)		0.6	15
製品計	(昭和48年度)			646

表Ⅱ 3-35 家庭下水関連の P 化合物消費量

	国内消費量 (千t/年)	1人1日あたり消費量 (Pg/人/日)
医薬	1.17	0.028
食品	2.93	0.070
洗剤	21.17*	0.508
歯みがき	3.62	0.087
	28,500 (t/年)	0.693 (g/人/日)

\*一部食品加工流通部門、繊維工業、クリーニング  
美容、理容業等で使用されるものも含んでいる。

表Ⅱ 3-34 工業排水の N, P 排出負荷原単位 (昭和52年)

— 実測法と原単位法の比較 —

	N			P			
	環境庁 (瀬戸内海)	運輸省 (兵庫・大阪)	本研究 (表Ⅱ 3-29)	環境庁 (全国)	環境庁 (瀬戸内海)	運輸省 (兵庫・大阪)	本研究 (表Ⅱ 3-29)
18,19 食料品製造業	1.3	0.49	0.17*	0.13	0.09	0.13	0.082
20 繊維工業	0.30	0.36		0.33	0.02	0.03	
21 衣服、その他の 繊維製品製造業	0.035	0.018		0.003	0.006	0.002	
22 木材、木製品製造業	0.010	0.046		0.049	0.005	0.002	0.12
23 家具、装備品製造業				0.027	—	—	
24 パルプ、紙 紙加工品製造業	0.42	0.14		0.092	0.034	0.003	
25 出版、印刷、 同関連産業	0.068	0.034		0.002	—	0.006	0.027
26 化学工業	2.1	1.6	2.5	0.35	0.12	0.14	
27 石油製品、 石炭製品製造業	2.0	0.80		0.038	0.046	0.055	
28 ゴム製品製造業		0.17		0.054	—	0.003	0.027
29 なめしかわ、同製品 毛皮製造業		0.71		0.067	—	0.002	
30 窯業、 土石製品製造業	0.77	0.03		0.005	0.074	0.004	
31 鉄鋼業	0.60	0.94		0.15	0.03	0.02	0.027
32 非鉄金属製造業	0.47	0.23		0.017	0.180	0.002	
33 金属製品製造業	0.02	0.11		0.13	0.01	0.01	
34 一般機械器具製造業	0.016	0.041	0.045	0.008	0.007	0.002	0.027
35 電気機械器具製造業	0.13	0.04		0.029	0.002	0.006	
36 輸送用機械器具 製造業	0.14	0.01		0.040	0.007	0.002	
37 精密機械器具製造業	0.006	0.012		0.24	0.002	0.006	0.027
39 その他の製造業	0.21	0.022		0.003	0.005	0.013	
	(32)	(33)	* 化学品 由来のみ	(31)	(32)	(33)	



### 3・4 農業排水のN,P負荷原単位

#### 3・4・1 研究目的

本節の研究目的は i) 農地排水負荷の考え方や肥料流出の評価方法を整理する。  
ii) 農業排水の排出負荷原単位を設定する。iii) 施肥形態の変化が肥料流出に及ぼした影響について考察することである。

#### 3・4・2 研究方法

研究方法の概略は以下に示すとおりである。

i) 農地排水の調査報告例、肥料成分の収支等に関する文献を収集し、農地排水（肥料流出）の評価方法について検討するとともに、農地におけるN、P収支や、排出率に関する情報を整理する。

ii) 水稻栽培初期の水田群のN、P排出量を実測調査する。

iii) 作物別作付面積あたりの施肥量に排出率を乗じる方法で、農地排水のN、P排出負荷原単位を設定する。併せて、家畜污水についても、文献調査により糞尿発生量と処理処分別排出率から、N、P排出負荷原単位を設定する。

iv) 農村地帯の地下水中のN濃度の経年変化を、北九州市、宇部市水道局の原水水質データより整理し、肥料消費量の経年変化、農業技術の変化を全国統計より明らかにして、これらと肥料流出率の変化の間の関係を考察する。

#### 3・4・3 研究結果および考察

##### (1) 農地排水に対する考え方

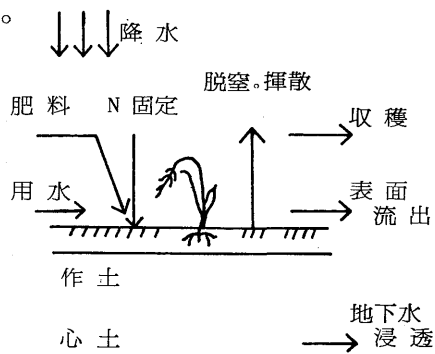
① 農地における物質収支 農地のN、P収支をとるには図Ⅱ 3-20のような要素を考える必要がある。このうち肥料流出に直接関係する項は表面流出と浸透水への溶脱の二つである。

Nの場合は脱窒が無視できず、固液部分だけでは収支がとれない。Pは固液部分だけで収支がとれるが、土壌への蓄積が大きい。

肥料の継続的な使用によって、農地土壌のN含量はあまり変わらないが、P含量は上昇しつつあるといわれる。以下この図を念頭において議論を進める。

##### ② 農地排水の評価方法

農地排水の負荷の推定方法としては、対象とする面積の大きさに応じて、i) ライシメーターによる溶脱量の測定、ii) モデル圃場や、水田群、畑群を対象とした流出負荷の推定  
iii) 農業地帯を流れる川の河口における流達負荷や地下水経由の負荷を直接測定すること



図Ⅱ 3-20 農地における物質収支

により、当該水域への流入負荷を求める方法が考えられる。ライシメーターによる方法は排出負荷を知るための最小のものと考えられ、地下浸透損失の測定が確実にできる利点を有する。しかし水田のライシメーターでは、表面流出量の測定が構造上不可能な場合が多い。ii), iii)の方法は単に規模が異なるだけで本質的に同じ方法に属するものであるが、唯、ii)の結果から当該水域への流入負荷を推定するには、さらに途中の浄化を考慮して流達率を乗じなければならない。一方iii)の方法では、他の発生源からの負荷が混入してくるので、各発生源の寄与を明らかにすることはむづかしい。流入負荷の推定という目的のためには、場の規模が大きい方が真実に近い結果が得られるはずであり、肥料流出の研究も重点がi)→ii)→iii)へ移りつつあるようである。しかし反面、実測に費す労力は場の規模が大きくなれば大きくなり、測定に伴う誤差も大きくなる。農地のような面的負荷源については、降雨時の流出を重視すべきで、これを正確に把握するためには労力と時間をかけた調査が要求される。また現場で地下浸透負荷を測定することは非常に難しい。したがって、どの方法がよいということではなく、それぞれの方法を併用し、総合する必要があるといえよう。

③ 用語方法 肥料流出に関する用語として、流出、流亡、溶脱、排出、流達など種々の表現が用いられており、まだ統一された用語法はないようである。本論文では一応、次のような定義にしたがった。

$$\text{排 出 負 荷} = \text{表面流出負荷} + \text{地下浸透負荷} \quad \cdots \cdots (6)$$

$$\text{みかけの排出率(対肥料投入量)} = \frac{\text{施肥区排出負荷}}{\text{肥料 N, P 投入量}} \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (7)$$

$$\text{みかけの排出率(対入力合計量)} = \frac{\text{施肥区排出負荷} \times 100 (\%)}{\text{雨・用水による持ち込み負荷} + \text{肥料 N, P 投入量}} \cdots (8)$$

$$\text{正味排出率 (あるいは施肥排出率)} = \frac{\text{施肥区排出負荷} - \text{無施肥区排出負荷}}{\text{肥料 N, P 投入量}} \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (9)$$

$$\text{差し引き排出率} = \frac{\text{施肥区排出負荷} - \text{雨, 用水による持ち込み負荷}}{\text{肥料 N, P 投入量}} \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (10)$$

$$\text{水田浄化率} = \left( 1 - \frac{\text{排 出 負 荷}}{\text{雨・用水による持ち込み負荷}} \right) \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (11)$$

#### ④ 排出率について

排出率は上述のように様々なものが用いられている。いずれの場合でも、土壌の型、地下水位、栽培方法（施肥、用排水管理）、降雨量、雨水、用水濃度などによって、大きな幅をもっていることにまず注意が必要であろう。

ライシメーターでは対照区（無施肥区）の設定が比較的容易であるので、正味排出率で論じられることが多い。しかし厳密に考えると、単純に無施肥区の排出負荷を差しひいたものが真に正味の排出負荷かどうか疑問がある。たとえば、無施肥の場合は窒素固定が施肥区より大きくなることも十分考えうることであり、また肥料成分の流出は植物の生育度にも関係する。さらに調査期間は作付期間だけでは不十分で、かなり長期にわたって施肥区と無施肥区の差をみていく必要がある。したがって対照のとり方には十分に慎重でなければならないと考えられる。

一方、現場圃場においては、対照区の設定が困難であるため、正味排出率に代って、差しひき排出率が提案されてきた。しかしこの差しひき排出率も次のような問題点がある。

i) 雨や用水中のN、P負荷が単に水田を素通りして排水に出るとするのは不合理であり、これらの負荷も、肥料として投入されたN、P負荷も水田中で何程かの浄化を受けて排水に出てくると考えるべきである。すなわち、排出負荷は次式で表わされる。

$$\text{排出負荷} = \text{雨・用水中負荷} \times (1 - r_o) + \text{肥料投入負荷} \times (1 - r_f) \cdots \cdots (12)$$

$r_o, r_f$  : 雨・用水中負荷および肥料投入負荷それぞれに対する水田における浄化率  
差しひき排出率は(12)式で  $r_o = 0$  とした議論であるが、これよりむしろ  $r_o = r_f$  と考えた(8)式の入力合計のみかけ排出率の方がまだ合理的であると考えられる。

ii) 農地排水を考える場合は a) 問題となっている水域へのN、P等流入負荷を推定することを目的とする立場と、b) 農地の物質収支、分解浄化作用などの機構解明を目的とする立場に大別できる。差しひき排出率はどちらかといえばb)の立場に立った議論と考えられるが、それならば、むしろその立場を徹底させて、(11)式の水田浄化率として議論する方がわかりよい。大切なのは、水田が汚濁型か、浄化型か、差しひき排出率が正か負かということではなくて、本来有している水田の浄化能が化学肥料の施肥により、どの程度低下したのかということであろう。

iii) a)の立場に立って、流入負荷量の推定を行う場合は次のような手順によればよい。すなわち、無施肥土壌からの自然性負荷は別に考慮するとして、肥料、家畜糞尿等のN、P投入量に対してそれぞれ正味の排出率を乗じてその農地からの排出負荷を計算し、次いで流程の自浄作用を考慮して、当該水域へ到達する率（流達率；定義はⅡ4-1に示す）を乗じて流入負荷を求めればよい。しかし通常正味の排出率を求めることは困難であるので、(8)式の排出率で代用する方法が現在のところ最善であろう。用水の濃度が高い水田では差しひき排出率が負となる場合もありうるが、このような水田による浄化作用は流達率の中で考慮すればよいと考えられる。たとえば上流部の水田の排水が下流部の水田の用水に利用される場合、その用水中の負荷はいくらか浄化を受けるので、上流水田の排出負

荷の流達率がその分小さくなると考えればよい。

⑤ 排出率、流達率と降雨時流出の関係 肥料成分の排出率、流達率を論ずる場合、注意すべき点として、降雨時流出の扱いがある。農地のような面的負荷源の場合には、晴天時の流出は小さく、雨水の表面流出、地下浸透にともなう、肥料成分が水系に失われるのであって、降雨時負荷こそ重点的に測定されるべきものである。畑地などにおいて、極端な場合は晴天時の排出率は0であることも十分ありうることである。農業分野での研究でも、この点は技術的な困難さもあってやや軽視されてきたきらいがある。たとえば、中田らは水田からの表面流去負荷を田面水の溶存N、P濃度から推定している。<sup>35)</sup>高村・田淵らも初期の論文において表面流出水の水質を田面水と雨水の濃度の平均値をあてはめて計算している。<sup>36)</sup>Nは地下浸透が主であるからともかくとしても、Pは土壤に吸着された形で溶出が無視しえないと思われ、降雨時の表面流出負荷の実測がなされなければならないと考えられる。

国松は琵琶湖にそそぐ中小河川について、<sup>37)</sup>1977年9月下旬の晴天時と、35mm降雨時（前無降雨日数2週間以上）の負荷を比較し、Nで0.8～700倍、Pで0.9～1,030倍に増加したと報告している。面的負荷源についての排出率等に出されている数値がどのような実測、計算によって算出されたものであるか十分に注意する必要がある。

## (2) 農地排水負荷の調査報告例

現在までに報告されている肥料流出に関する調査研究例を整理して主要な知見をまとめてみる。その一部を巻末資料4に示しておく。

① 水稻 ラインメーターのデータでは、みかけの排出率（対肥料）はNで4～44%，P 0.2～8%，正味排出率N 3.6～18%，P 0～2%とかなり大きい幅がある。

圃場のデータではみかけの排出率（対入力計）はN 11～35%と比較的20%前後の値が多く、Pは0.27～2.8%とNより幅が大きい。

水田浄化率は高村、田淵ら（1976）<sup>36)</sup>の10aの圃場実験によると、無施肥の対照区では、N 62%，P 30%で良好な活性汚泥なみの除去率を示しているのに、施肥区ではN、-2%，P、-830%と汚濁の方に転じている。同様に同氏ら（1977）<sup>38)</sup>の15aの圃場実験によると、対照区でN 56%，P 49%の浄化率を示すのに対して、施肥区ではN 17%，P 27%の浄化率に低下している。

② 畑作物、果樹など ラインメーターではみかけの排出率（対肥料）N 8～43%，P 0.4～0.6%，正味排出率N 2～47%，P 0～0.02%とやはりかなり幅が大きい。

Pはラインメーターが浸透水の測定を主としている関係上、始めから流出しないとして測定されていない場合が多い。水稻と比べるとNは畑の方が大、Pは小の傾向がある。

圃場では、みかけの排出率（対肥料）はN 5～30%で茨城農試（1974～76）<sup>39)</sup>によると、施肥量が大きいほど、作物による吸収率は低下し、排出率は増加する。

③ 農業地帯の河川負荷量調査報告例 現在、琵琶湖、霞ヶ浦流域において、河川の降雨時負荷を含めた実測が継続的になされているようであるが、現在までのところ、肥料流出と河川負荷測定値の間を論じたものはあまり見当たらず、河川負荷も晴天時測定のものが用いられている。田淵らは霞ヶ浦に流入する12河川（流域面積889km<sup>2</sup>）の隔月の水質調査を行い、農業排水との関係を論じている。<sup>40)</sup> 実測比負荷はCOD 107 g/ha/日、TN 58 g/ha/日（うち無機態N 67%）、TP 2.9 g/ha/日（うちPO<sub>4</sub>-P 59%）であり、そのうち農業地帯を流れる河川の比負荷はCOD 58 g/ha/日、TN 26 g/ha/日（うち無機態N 57%）、TP 0.86 g/ha/日（うちPO<sub>4</sub>-P 30%）であった。これを年間に換算すると、N 9.5 kg/ha/年、P 0.31 kg/ha/年と施肥量のレベルに比較してかなり小さめの値であるが、晴天時のデータであるので当然といえる。文献にも、降雨時流出を入れると水量的には39%の上づみになり、この負荷を今後調査すべきことが述べられている。

森泉らは同じ河川負荷のデータを用いて、比負荷と人口密度、施肥密度、家畜糞尿発生密度との間の相関をもとめ、人口密度との相関が有意であった他は、施肥密度、家畜糞尿密度との間の相関係数はむしろ負の値を示した。<sup>41)</sup> しかし元データが晴天時のものであるので、面的負荷源からの流出は小さく、かえって点源負荷の流出率が農業地帯では小さいので、上のような傾向がみられて不思議ではない。

後章で述べるように、著者らの塩田川における流出率調査において、降雨時流出の後期には必ず、NO<sub>2</sub>、3-Nの濃度の高まりを観測したが、これはおそらく、一旦地中に浸透した雨水が土壌中にゆるく保持されていたNO<sub>3</sub>-Nを連行して、再び地表水に出てくるためではないかと考えられる。そこで降雨時のNO<sub>2</sub>、3-N年間負荷6,330 kgを、施肥量の30%として計算した肥料由来の排出負荷7,740 kgと対応させると、かなり近い値となる。

同じく、著者の調査した江頭川における水稻栽培初期の水質調査データから、いくつかの仮定をおいて生活下水、造成地よりの侵食土壌による負荷を分離した、47日間の流出負荷はN 9 kg/haとなった。

### (3) 厚東川中流域における水田の表面流出負荷量調査

#### 1) 調査方法

昭和47年6月15日から7月10日はかけて、厚東川中下流域右岸の御撫育土地改良区の農業用水収支調査が山口県により行われたので、この機会を利用して、ほとんど家庭下水を

图 I 3-21



圖 10 品  
調查地区水路図

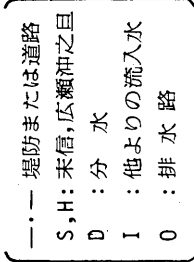


表 I 3-36

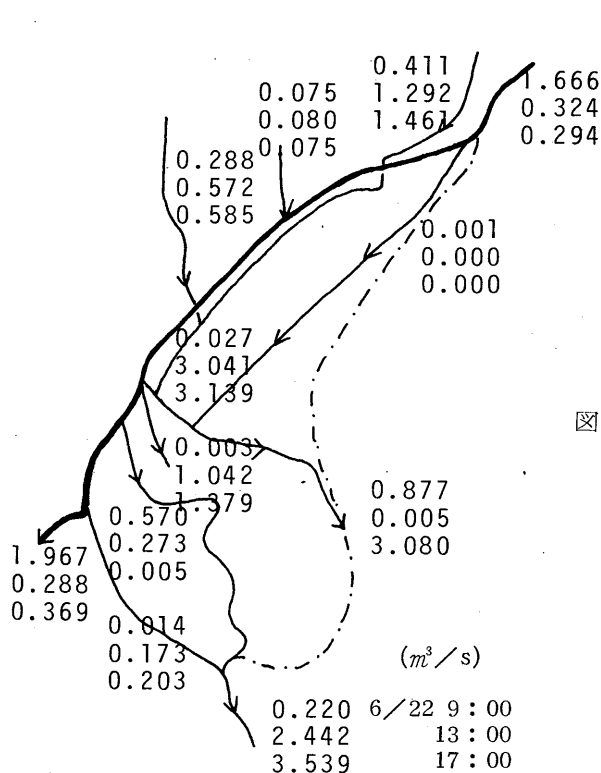
流量 6.15 ~ 7.10  
水質 6.15 ~ 6.27 測定

表Ⅱ 3-37 末信地区の水量収支 ( $m^3/\text{日}$ )

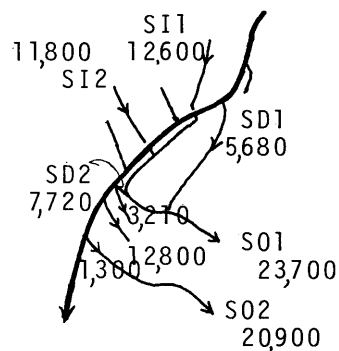
入			出		
雨		20,990	減水深		20,880
分水	SD1	5,680	排水	S01	23,700
	SD2	7,720		S02	20,900
	SD2'	3,210			
	SD3	12,800			
	SD4	1,300			
	小計	30,710		小計	44,600
その他 流入	SI1	12,600	その他 損失 (さしひきより)		10,700
	SI2	11,800			
合 計		76,100	合 計		76,100

表Ⅱ 3-38 沖之旦地区の水量収支 ( $m^3/\text{日}$ )

入			出		
雨		10,650	減水深		10,200
分水	HD1	17,100	排水	H01	23,100
	HD2	2,970		H02	3,230
				H03	1,200
	小計	20,070		小計	27,530
その他 流入	HI1	9,150	その他 損失 (さしひきより)		2,560
	HI2	420			
合 計		40,290	合 計		40,290

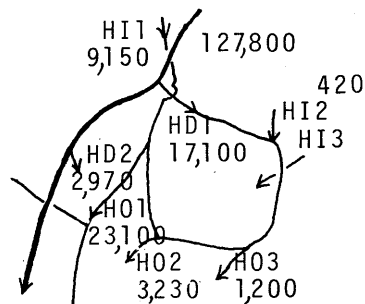


図Ⅱ 3-23 末信地区用排水流量変動例



6/15~7/10(32回の測定)

図Ⅱ 3-24 末信地区における補正後平均  
日流量 ( $m^3/\text{日}$ )



6/15~7/10(32回の測定)

図Ⅱ 3-25 沖之旦地区における補正後  
平均日流量 ( $m^3/\text{日}$ )

分離できる末信、沖之旦の2地区のみについて、用排水の水質調査を6月15日から27日の間に7回行って、農地よりの汚濁物質の表面流出量の推定を試みた。分析項目は、COD<sub>al</sub>、KjN、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2,3</sub>-N、TP、PO<sub>4</sub>-Pである。

両地区の位置は図Ⅱ3-21に、水路の概要を図Ⅱ3-22に示した。6月10日から7月14日の間の雨量を表Ⅱ3-36に示した。対象地区面積は末信地区104ha、沖之旦地区51haである。流量データのある6月15日から7月10日の間の降雨量をその期間の1日あたりの雨量で表わすと19.6mm/日である。

## 2) 調査結果および考察

① 用排水量の収支 流量は調査期間中1日2～3回の14日、延32回の測定が行われた。分水路、排水路の構造は断面の定らないものも多く、流量測定は困難であり、また図Ⅱ3-23に1例を示すように、人為的な管理が頻繁に行われるため、1日2～3回の測定で十分平均的な実態を把握したかどうか確かでない。

そこで実測流量の平均値に対して以下のような補正を行い、水量収支を推定した。

i) 本地区は県農試の基本調査で灰褐色壤土マンガン型（沖之旦の半分はグライ土壤壤土型）と分類され、排水は前者で良、後者でやや不良とされているが、わが国水田の日減水深は13.8～26.9（平均18.0）mm/日とされているので、本地区の減水深として、20mm/日を採用する。

ii) 両地区の間の山林からの末信地区への流出水量を平均雨量19.6mm/日に対し、流出率を0.4として、610m<sup>3</sup>/日とし、末信地区の雨の項に加える。同様に沖之旦地区へは、650m<sup>3</sup>/日を加算する。

iii) HI2の流量測定が不十分なので、これも平均雨量より推定した370m<sup>3</sup>/日と、地区人口130人に対し、0.4m<sup>3</sup>/人・日の使用水量として50m<sup>3</sup>/日の合わせて420m<sup>3</sup>/日をHI2とHI3の合計水量とする。

表Ⅱ3-37、3-38に両地区の調査期間中の水量収支の推定結果を示した。図Ⅱ3-24、3-25には各地点の調査期間中の日平均流量を示した。

② N、P負荷収支 調査期間7回の平均水質に上述の日平均流量を乗じて、用排水のN、P負荷量を算出し、雨による入力は無視して両者を比較してみると、表Ⅱ3-39のようになる。なお沖之旦地区は221人分の家庭雑排水による負荷を入力に加えた。

流入負荷を差しひいた差しひき排出量は末信地区でCOD 0.78kg/ha/日、N 0.24kg/ha/日、P 0.093kg/ha/日、沖之旦地区でCOD 1.7kg/ha/日、N 0.33kg/ha/日、P 0.081kg/ha/日となる。CODについてはやや湿田性の強い沖之旦地区で少し大きい値となっているが、N、Pは両地区とも比較的近い値を示している。



表Ⅱ 3-39a 末信地区の汚濁負荷収支表

	入				出			出-入	
	分水	SI1	SI2	計	S01	S02	計	(kg/日)	(g/ha/日)
Q ( $m^3$ /日)	30,710	12,600	11,800		23,700	20,900			
COD <sub>a1</sub> (ppm)	3.26	5.42	5.80		5.20	9.20			
(kg/日)	100	68.3	68.4	236.7	123	192	315	78.3	780
NH <sub>4</sub> -N (μg/l)	47	212	160		150	339			
(kg/日)	1.44	2.67	1.89	6.00	3.56	7.09	10.65	4.65	47
NO <sub>2,3</sub> -N (μg/l)	369	813	504		750	610			
(kg/日)	11.3	10.2	5.95	27.45	17.8	12.7	30.5	3.05	31
Kj-N (μg/l)	311	818	805		803	1,500			
(kg/日)	9.55	10.3	9.50	29.35	19.0	31.4	50.4	21.1	210
PO <sub>4</sub> -P (μg/l)	32	90	46		65	290			
(kg/日)	0.98	1.13	0.54	2.65	1.54	6.06	7.60	4.95	50
TP (μg/l)	169	217	185		193	590			
(kg/日)	2.73	2.73	2.18	7.64	4.57	12.33	16.90	9.26	93

表Ⅱ 3-39b 沖之旦地区の汚濁負荷収支表

	入				出				出-入	
	分水	HI1	家庭下水	計	H01	H02	H03	計	(kg/日)	(g/ha/日)
Q ( $m^3$ /日)	20,070	9,570			23,100	3,230	1,200			
COD <sub>a1</sub> (ppm)	3.61	4.20			6.80	11.2	6.15			
(kg/日)	72.5	40.2	3.5	116.2	157	36.2	7.4	200.6	84.4	1,690
NH <sub>4</sub> -N (μg/l)	84	75			360	635	122			
(kg/日)	1.67	0.72		2.39	8.32	2.05	0.15	10.52	8.13	163
NO <sub>2,3</sub> -N (μg/l)	498	266			281	283	434			
(kg/日)	10.0	2.55	0.66	12.55	6.49	0.91	0.52	7.92	-4.63	-93
Kj-N (μg/l)	555	432			1220	2430	895			
(kg/日)	11.14	4.13		15.93	28.18	7.85	1.07	37.10	21.17	423
PO <sub>4</sub> -P (μg/l)	61	65			164	154	127			
(kg/日)	1.22	0.62		1.84	3.79	0.50	0.15	4.44	2.60	52
TP (μg/l)	169	175			338	369	262			
(kg/日)	3.39	1.68	0.21	5.28	7.81	1.19	0.31	9.31	4.03	81

表Ⅱ 3-40 水稻栽培初期 (15日間) の N, P 等流出量と差し引き排出率

地区	C O D (kg/ha)	N		P	
		(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
末 信	1 2	3.6	3.6	1.4	3.0
沖之旦	2 6	5.0	5.0	1.2	2.6

排出率は標準施肥量  
N 100kg/ha, P 47kg  
/haに対する割合

いま、6月後半の採水期間、15日間についてhaあたりの差しひき排出負荷を求めてみると表Ⅱ3-40に示せように、Nでは末信地区で3.6 kg/ha、沖之旦地区で5.0 kg/haとなり、Pではそれぞれ1.4 kg/ha、1.2 kg/haとなる。仮に施肥量をN 100 kg/ha、P 47 kg/haとすると、それらの割合は末信地区、沖之旦地区に対しそれぞれ、N 3.6、5.0%、P 3.0、2.6%となる。雨からのN、P供給量を後章より、N 10 kg/ha・年、P 1.0 kg/ha・年として考慮して補正すると、末信地区でN 3.2%、P 2.9%、沖之旦地区で、N 4.6%、P 2.5%となる。

③ その他の知見 i) 沖之旦地区は末信地区に比較してCOD流出が大きく、これと対応して、NO<sub>3</sub>-Nは差しひき排出量は負の値になっている。

ii) TNのうち無機態Nの占める割合は末信地区で32%、沖之旦地区で21%、同様にTPのうちPO<sub>4</sub>-Pのしめる割合はそれぞれ54%、64%であった。

### 3) 要 約

調査した末信、沖之旦2地区の水田群からの水稻栽培期間初期のN、P表面流出量は用水の持ち込みを差しひいて、雨水は考慮しない場合、それぞれN 3.6、5.0 kg/ha、P 1.4、1.2 kg/haとなり、標準施肥量に対する差し引き排出率は、雨水を考慮してもN 3.2、4.6%、P 2.9、2.5%とかなり大きいという結果が得られた。

とくにPは溶脱しにくいところから、従来農耕地からのPの排出は過小に見積られているのではないかと考えられ、この結果は大きな意味をもっている。

### (4) 農業排水のN、P排出負荷原単位

#### ① 肥料流出率

これまでみてきたように、対象となる農地によって、実態はかなり異なるのであるから、平均的な議論は困難ではあるが、実測が点源のように容易ではないので、目安となる排出率標準値を設定しておくことは十分意義のあることである。

浅野らは種々の情報を総合して、作物ごとに、<sup>42)</sup>平均的な肥料成分の収支を推定している。このうちから、対化学肥料と対入力計のみかけのN、P排出率をぬき出してみると、表Ⅱ3-41のように整理される。これで見ると、入力負荷の合計に対するみかけの排出率は、水稻についてN 14% P 1.9%、畑作物について、N 28~29%、P

表Ⅱ3-41 作物別みかけ排出率

作物		施肥量 化学肥料 (有機肥料) kg/ha/年	みかけ排出率 (%)	
			対化学 肥料	対入力 計
水稻	N	95 (13.3)	22	14
	P	45 (1.4)	2.0	1.9
畑作物	N	65	30	28
	P	38	0.5	0.5
野菜	N	258	30	29
	P	80	0.3	0.3
果樹	N	204	30	29
	P	48	0.4	0.4
牧草	N	100	3.0	29
	P	46	0.0	0.0
茶	N	161 (132)	55	30
	P	32 (17.9)	0.6	0.4

浅野・谷田沢(1976)：有機肥料は外数

0.3～0.4%，牧草についてはとくに低く、N 2.9%，P 0.1%となっている。

越野<sup>43)</sup>(1975)は、昭和48年におけるわが国の農耕地を中心としたN、Pの循環を推定しているが、これにしたがって、農地における総括的な排出率を算出すると、Nの投入が雨を合わせて、1,263千t、排出量が260千tで19%と評価され、Pについては、投入が374千t、排出が11千tで2.9%と評価されている。

本論文Ⅱ2章の農地のN、P収支からは、系外へ持ち去られる収穫物への吸収率は、化学肥料、有機肥料の投入量に対して、N 31%，P 19%とかなり低いものであった。

著者は既報で、肥料の流出率はN 30%，P 2～4%として、農業関係者の一部から反論を受けたが、本節の検討を総合して、農地におけるN、P収支をまとめてみると、表Ⅱ3-42のようになる。

表Ⅱ3-42 農地へ投入されたN、Pの行方(%)

農地に投入されたNは水田で15～30%，畑で20～30%，Pは水田で2～4%，畑で1～2%が排出されているとみて大きな間違いはないであろう。

		気化損失 (脱窒・揮散・固定)	作物による吸収	系外へ流出	土壌へ蓄積
水田	N	20 ～ 40	50 ～ 60	15～30	0
	P	0	10 ～ 30	2～4	残り
畑	N	10 ～ 20	30 ～ 60	20～30	0～10
	P	0	20 ～ 40	1～2	残り

## ② 作物別作付面積あたりの施肥量と農地排水の排出負荷原単位

肥料流出の場合、発生負荷原単位としては便宜上、作物別作付面積あたりの施肥量をあてる。発生源基数はしたがって作物別作付面積である。作付面積は農政局統計情報事務所が出している農林水産統計年報により、市町村別に知ることができる。

作物別標準施肥量は、各府県の農政課で入手することができるが、全国値でみると、米ではN 90～100 kg/ha/年、P 45～50 kg/ha/年、野菜ではN 230 kg/ha/年、P 82 kg/ha/年、果樹ではN 180 kg/ha/年、P 60 kg/ha/年程度(いずれも化学肥料のみ)である。

これらの施肥量と排出率を組み合わせることによって、化学肥料の流出に係る排出負荷原単位が求まる。化学肥料の他、人糞尿の農地還元については生活下水の項、家畜糞尿については後に扱うとして、市販の有機質肥料と有機リン農薬の投入量を全作付延面積の除すと、昭和52年ではN 5.8 kg/ha/年、P 3.1 kg/ha/年の施肥量となる。これらに対する正味排出率としては、N 0.2，P 0.02程度をあてればよい。

## ③ 家畜汚水のN、P負荷原単位

家畜汚水の発生源基数は、牛、馬、豚、にわとり(ブロイラーは採卵鶏0.5羽として換算)の飼養頭羽数であり、発生負荷原単位は家畜1頭(羽)あたりの糞尿発生量である。

糞尿発生量についての、種々の文献情報を収集整理して、平均的な発生負荷原単位を設

定した上で、昭和45年の全国飼養頭羽数を乗じて全国発生負荷を試算した結果は表Ⅱ3-43に示すとおり、合わせてN482千t/年、P118千t/年となる。

一方先のⅡ-2章で、牧草などの自給肥料も含めた飼料投入量と畜産物産出量のバランスより求めたN507千t、P112千tとほぼ近い値となっている。このバランスより求めた値は、統計に上ってこない形で飼料にまわっている食品加工残渣回収分の上ずみがいくらかある可能性のあること、またNについては飼養過程でいくらか脱窒損失が伴うものと考えれば、これら両者の値は非常によく整合している。

処理・処分方法別の排出率については、表Ⅱ3-44の程度をあてればよい。処理・処分普及率については、各府県畜産課である程度の情報は得ることができるが、一般に不十分であり、推定によらざるを得ない部分がある。家畜汚水に対する苦情の件数は、昭和45年1,466件、昭和47年4,265件、昭和48年5,298件と急増したが、その後処分方法の改善や移転によって、昭和52年1,970件と減少している。

表Ⅱ3-43の発生負荷原単位と表Ⅱ3-44の排出率を処理・処分方法に応じて乗ずれば、家畜汚水のN、P排出負荷原単位が求まる。農地還元の排出率は実際に農地に投入されたものに対する排出率であり、それまでの過程でとりこぼされて、畜舎の清掃排水などの形で排出される部分も場合によってはかなり大きいので注意が必要である。

表Ⅱ3-43 家畜糞尿のN、P発生負荷原単位と全国負荷

	発生量 (kg/頭・日)	N含量 (%)	P含量 (%)	発生負荷 原単位 (g/頭・日)		昭和45年全国 飼育頭数 (千頭)	全国発生負荷 (千t/年)	
	糞尿	糞尿	糞尿	N	P		N	P
肉牛	20	0.4	0.10	180	25	1,789	236	32.8
乳牛	10	1.0	0.05			1,804		
馬	15	0.5	0.15	175	26	137	9	1.3
豚	3	0.6	0.4	33	13	6,335	76	30.1
採卵鶏 ブロイラー	0.15	1.5	0.5	2.25	0.75	169,782	139	46.5
	0.075			1.13	0.38	53,742	22	7.5
計							482	118

表Ⅱ3-44 家畜糞尿の排出率(推定値) %

	COD	N	P
農地還元	2	20	2
野積み	5	40	5
焼却処理	0	2	2
高級処理	25	65	50
河川廃棄	100	100	100

## (5) 農業技術の近代化による排出負荷原単位の変化

### ① 施肥形態による肥料流出率の相違

農地からの肥料流出に関して、我々の最も大きな関心は、化学肥料、農薬、農業機械によって、肥料成分の排出率が果して変化してきたのかという点である。本論文の基本的視点である、「人為的な要因を洗いだせばよい」という立場からすると、農地に関しては、昭和30年代から40年代にかけての急速な、これら人為的变化の評価が是非とも必要になってくる。正味排出率の問題点として述べたように、自然と巧みに調和してきた昔の農地と最近の農地の排出率の差を問題にしなければならない。

この点について、国松は茨城県農試の根菜栽培の圃場試験のデータを引用して、興味ある指摘をしている。<sup>44)</sup>すなわち、「化学肥料区（標準区）と堆肥施用区の化学肥料投入量はともに、 $370\text{ kg N/ha/年}$ であるが、堆肥を加えると、後者のN施用量は $662\text{ kg}$ になる。しかるに両地区の地下浸透量は標準区 $79\text{ kg}$ に対して、堆肥施用区 $60\text{ kg}$ と、むしろ後者の方が $19\text{ kg/ha/年}$ と低下している。」という。おそらく、堆肥を施用した場合には、有機物の酸化に硝酸塩が利用され脱窒が促進したこと、有機態の窒素として土壌に残存する機会が増加したことなどの理由によるものと推定されるが、非常に重要な意味をもつ現象である。

堆肥など有機物の施用が土壌窒素の富化に効果のあることは、多くの研究で認められており、腐植質の乏しい無機質土壌において効果が大きいといわれている。四国農試で行われた8年間の有機物施用による水田地力維持効果の調査データによると、表Ⅱ 3-45に示すように、有機物の種類によって、土壌富化の効率にかなり差がみられる。このことは、C/Nバランスをとることによって、i) 化学肥料のN成分の流出が減少した、ii) 窒素固定量が増加した、のいずれか、あるいは両方の原因で、施用した有機物中のNが全量、土壌に蓄積したとするより以上のNの富化がおこっているということであり、したがって先述の国松の指摘した現象は単に脱窒が促進したためとのみ理解すべきではなく、一見、流出が減少することと矛盾するように見えるが、同時に土壌の富化もおこっていると解すべ

表3-45 有機物の施用による農地土壌のN含量の富化

		無肥料区	三要素区	堆肥区	緑肥	稲ワラ
稲・麦一作あたりの 施肥量 ( $\text{kg}/10\text{a}$ )	化学肥料 N	0	7.5	7.5	7.5	7.5
	有機物 (乾物)	0	0	375	375	375
8年間に投入された有機物 N 量 ( $\text{kg}/10\text{a}$ )		0	0	90	167	33
8年目の作土 TN 含量 (%)		0.13	0.13	0.20	0.19	0.15

四国農試 (1952~59) , 砂壤土, 稲・麦の2毛作

## ② 農村地帯の地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経年変化

北九州市、宇部市水道局では、比較的古くから原水の水質調査を行っているので、このデータを利用して、肥料消費状況の変化あるいは農業技術の近代化によって、農村地帯の地下水の水質にどのような変化がみられるかを検討した。

i) 取水点の概況 北九州市の紫川水系伏流水の原水は城野、今村、葛牧、紫川水源池の4ヶ所から、合わせて $41,000\text{ m}^3/\text{日}$ が取水されており、昭和30年から37年にかけて、毎月1回の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{Cl}^-$ 等の水質測定値がある。4取水点とも深さ2m程度の伏流水で、互いに近接しているが、今村のみ左岸に位置している。このあたりは小倉の市場を控えて、野菜栽培が盛んで、米の裏作にも野菜、麦の栽培が行われてきた。昭和45年ころより市街化区域となって急速に宅地化など開発が進み、農地が相当に減少している。これらのうち、もっとも農業地帯の色合の強かった今村のデータを主に利用する。<sup>45)</sup>

一方、宇部市の場合、厚東川に沿って4つの簡易水道と末信に厚東川伏流水の取水点がある。これら取水点の概要は表Ⅱ3-46にまとめているが、いずれも農業地帯の中にあつて、肥料の地下浸透損失を調べるには好適な位置にある。水質データは昭和39年度から、毎月1回測定されている。<sup>46)</sup>

ii)  $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月別変化 図Ⅱ3-26に北九州市今村原水の昭和49年度から51年度のデータならびに宇部市郷、木田、厚東簡易水道原水の昭和39年度から、46年度のデータより、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月別変化を示す。郷では水田単作地帯の特徴をよく表わし、その他では7~8月、12月、3~4月に2~3個の高濃度がみられ、それぞれ施肥の状況とよく対応している。

また、毎年同様な変化をくりかえすことから、わが国のように比較的多雨な条件では、肥料の溶脱に由来する $\text{NO}_3\text{-N}$ は年を越して土壌に蓄積されることなく、下流へ流出しているものと推定される。

iii)  $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷の季節変化 農地からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 排出負荷の概数と季節変化を知るために、月別水質に月別降雨量をかけあわせた負荷量の月別変化を同じく図Ⅱ3-26に示しているが、北九州市今村では、4月に約 $3\text{ kg N/ha/月}$ の最大値を示し、野菜栽培の盛んなことを反映している。宇部市郷では、7~9月に $4\text{ kg N/ha/月}$ 以上の負荷を示すが、10月から5月にかけては $0.5\text{ kg N/ha/月}$ 程度の程度の低い値を示している。

これらN負荷量の年間合計値は、北九州市今村で $17\sim 23\text{ kg N/ha/年}$ 、宇部市郷で $18\text{ kg N/ha/年}$ 、木田で $15\text{ kg N/ha/年}$ 、厚東で $22\text{ kg N/ha/年}$ となり、通常の地下浸透損失量とほぼ近いものとなっている。

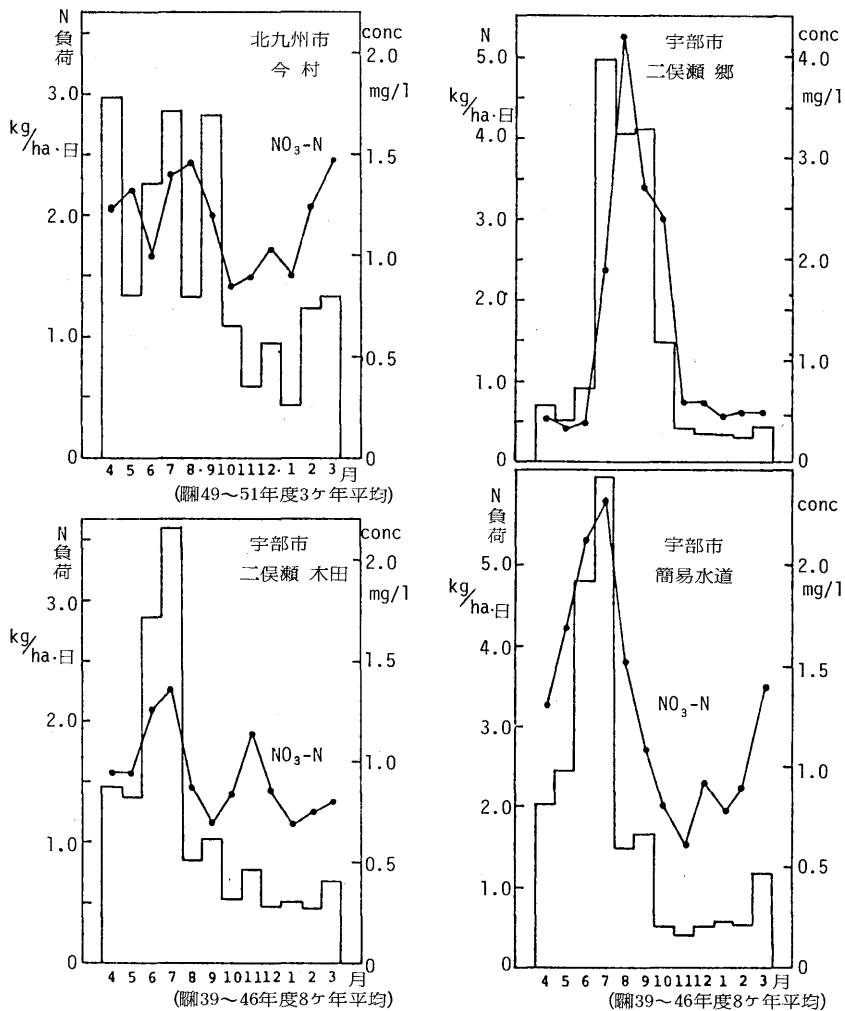


図 3-26 農村地域の浅層地下水の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度・負荷の季節変化

表 3-46 厚東川水系の地下水取水点の概況

原水取水点	周 辺 の 状 況 (取水位置の深さなど)	平均給水量 ( $\text{m}^3/\text{日}$ )
小野簡易水道 (伏流水)	雑佐川の小野湖への流入点。川中央部 30~60cmほどの深さより取水。上流部は、ほとんど山林と水田。	71
二俣瀬 郷 (浅井戸)	厚東川ダムより1~1.2km下流右岸の河原 1~2 mの深さより取水。上流部は、ほとんど水田と山林で、グライ土壌壤土型と灰褐色壤土マンガン型が 2:3 程度。	68
二俣瀬 木田 (浅井戸)	厚東川ダムより約 2 km下流、右岸の堤防外、深さ 5 m位より取水。上流部は水田が多い。グライ土壌壤土型と灰褐色壤土マンガン型が 1:5 程度。	44
厚東簡易水道 (浅井戸)	厚東川右岸、8~10 mの深さより取水。上流部は山間狭隘部の集落をこえると水田が多い。灰褐色土壌満俺型、黄褐色土壌強粘土型、グライ土壌壤土型が同程度。	55
厚東川 末信 (伏流水)	厚東川左岸寄り。深さ 1 mしかないので、表流水が一部混じる。対岸には水田が多いが、左岸には山がせまっている。	20,400

#### iv) $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経年変化

図Ⅱ3-27には昭和30～37年，昭和49～51年の北九州市今村原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{Cl}^-$ 濃度の年平均値（ $n=12$ ）の経年変化を示した。地下水の濃度は降雨量に影響されると考えられるので，年降雨量の変化も併せ示している。

昭和32年から37年にかけての $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の急激な増加は，昭和30年ころから化学肥料を使い始めたという農家の聞きとりと時期が一致する。そしてこの間，人糞尿，牛堆肥，馬糞，鶏糞などに代り，化学肥料の依存度を高めていったのに対応して， $\text{NO}_3\text{-N}$ の浸透損失が増加したと理解することができる。その後の横ばいないし漸減の傾向は，農業の近代化が定着し，むしろ都市化によって農地が昭和40年代に減少してきたことと対応している。

一方，図Ⅱ3-28 a，bには昭和39年から48年度の厚東川水系の5つの地下水原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{Cl}^-$ 濃度の年平均値（ $n=12$ ）の経年変化および年降雨量の変化を示した。なお各年度の山口県内の化学肥料N消費量をその年の降雨量で除した値も参考として図示している。

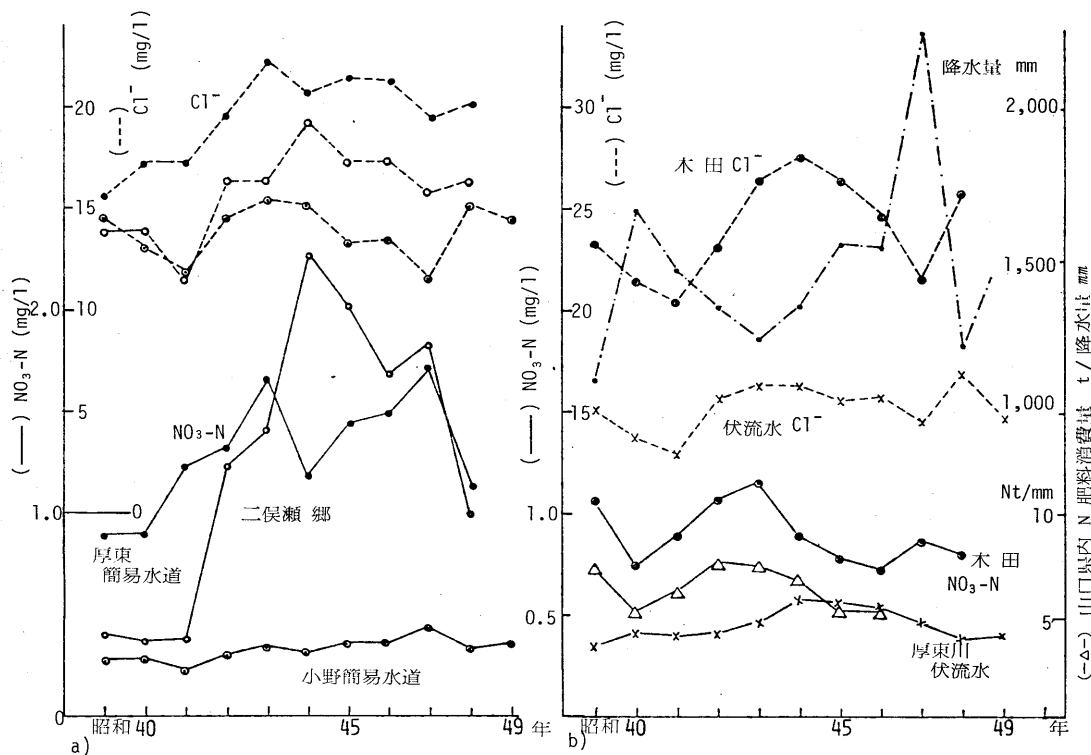
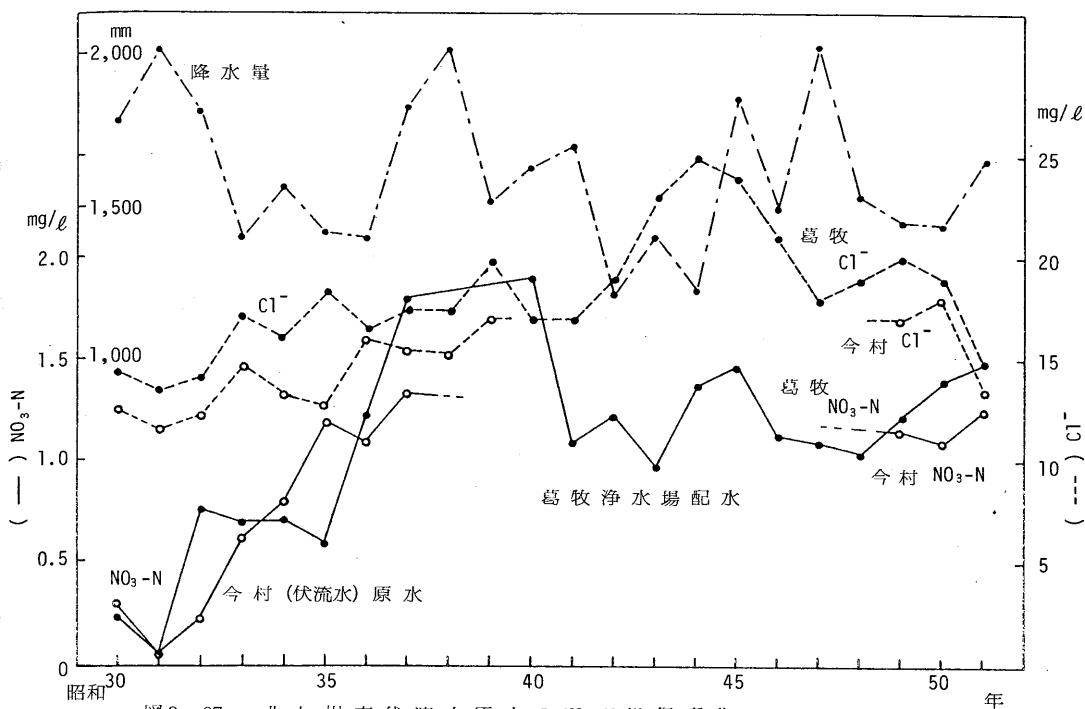
この図でみると，宇部市の場合は時期的にやや遅いためか，二俣瀬郷を除いて全体にあまり顕著な変化を示していない。しかしよくみると二俣瀬木田原水の $\text{NO}_3\text{-N}$ は，山口県の肥料消費状況とよく対応した推移を示している。また厚東簡易水道でも同様の傾向のあ<sup>II2-1)</sup>ることはすでに指摘しているとおりである。（前者は肥料消費量/降雨量と，後者は肥料消費量そのものと $\text{NO}_3\text{-N}$ 年平均値との相関が高い。）

もっとも注目に値する傾向は二俣瀬郷原水における，昭和42年から44年にかけての $\text{NO}_3\text{-N}$ の急激な上昇である。実に3年間で5倍強の増加を示している。この原因を確めるため，現地の農家，農協に聞きとりを行ったが，農機具が普及し，牛を飼わなくなり，堆肥を入れなくなった時期が，昭和40年すぎであるということで，これにより化学肥料の施用量もその分増加した。またこの頃より，中干，間断かん水を行うようになり，水田がより酸化的になったということが指摘された。

少くとも，郷は水田単作型のパターンがはっきりしており，取水点近傍上流部の水田からの $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱が昭和40年代前半の時期に急上昇したと考えざるを得ない。

今村と郷の $\text{NO}_3\text{-N}$ の上昇時期の違いは，郷の方が近代化が遅れたこともあるが，今村の場合，野菜に重点があったということで，人糞尿の使用が減少した時期が，郷の家畜糞尿堆肥の減少時期より，早かったためと考えられる。郷の急激な変化は中干という水管理上の変化が重なったためであろう。以上のように農業技術の近代化によって，肥料成分の排出率が増大したことはおそらく事実とみてよいであろう。





### ③ 農業技術の近代化と化学肥料消費量の増大

図Ⅱ 3-29は著者が肥料統計を過去にさかのぼって収集整理し、<sup>47)</sup>化学肥料や自給肥料消費量の推移をすべて、N、P純成分量に換算して図示したものである。

化学肥料の消費量は戦後急速に伸び、N、Pとも昭和42年ころまで急成長を続け、その後は若干変動しながらほぼ一定の水準に保たれている。なおこの化学肥料消費量にはいくらか工業用用途も含んでおり、正味肥料用消費は昭和40年以降について図示しているように、Nについては両者にやや差がある。

家畜糞尿および人糞尿を中心とした自給肥料の消費量は昭和30年ころを境にして、減少に転じ、化学肥料に凌駕されて、肥料統計からも姿を消すに至った。一方家畜糞尿、人糞尿の発生量はその後も増加し、自給肥料として農地還元される量との差は急増し、水質汚濁、富栄養化の根本的な原因を構成するようになる。

自給肥料の減少と化学肥料の増大の関係は水田への施肥量について、図Ⅱ 3-30によく表われている。このような肥料消費量の変化は図Ⅱ 3-31の耕うん機の普及台数ともよく対応しており、家畜が個々の農家から離れて畜産業が独立していった時期ともよく符合する。

家畜・人糞尿の発生負荷はNの場合、化学肥料とほぼ並行し、最近ではむしろそれより大きくなっているが、Pの場合は化学肥料消費量が家畜・人糞尿発生量に比べて相当大きい特徴がある。このことから、Pについては過剰投入の傾向があり、農地土壌のP濃度が化学肥料消費量の増加に伴って増大し、その土壌が降雨時に浸食され表面流出するという形で排出負荷原単位が増大してきたことが示唆される。

一方、Nについては前項で述べたように、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱損失の増大によって、排出負荷原単位を増加させてきた可能性があり、要するにN、Pとも農業技術の近代化に伴って農地排水の排出原単位が大きくなってきたことは十分ありうることである。

さらにその影響は上述のように、単に農地排水の悪化だけにとどまらず、家畜汚水、生活下水を農地からしめだすことにより、排出負荷を飛躍的に増大させ、あるいはまた、肥料生産に関連して、工業排水の排出負荷を増加させることに及ぶ。したがって、農業の変貌が富栄養化の根本原因であるといっても決して過言ではない。

#### 3・4・4 研究成果の要約

農業排水のN、P負荷原単位について検討した結果、次のようなことが明らかとなった。

① 肥料の排出量を求める場合には本来(2-9)式の正味排出率を用いるべきであるが、(2-8)式の入力合計量に対するみかけの排出率で代用する方法が現実的である。

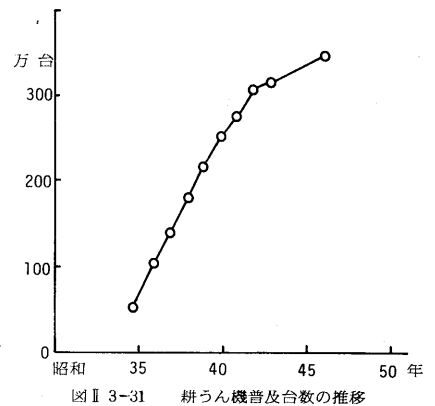
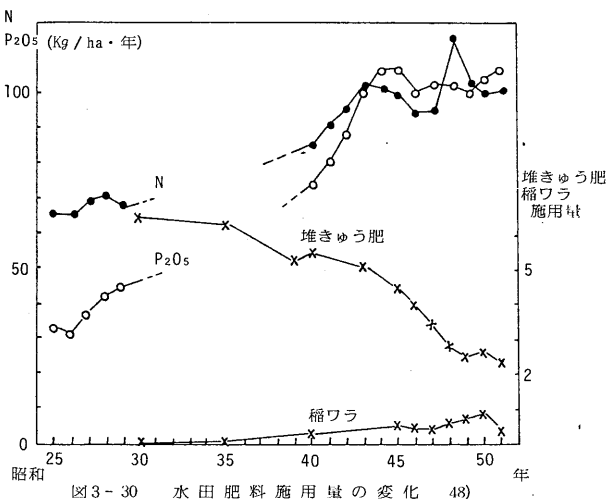
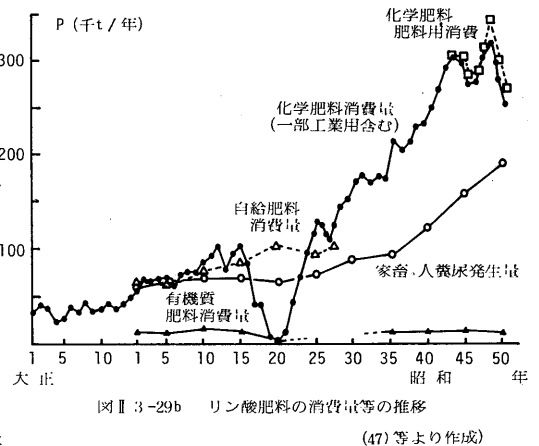
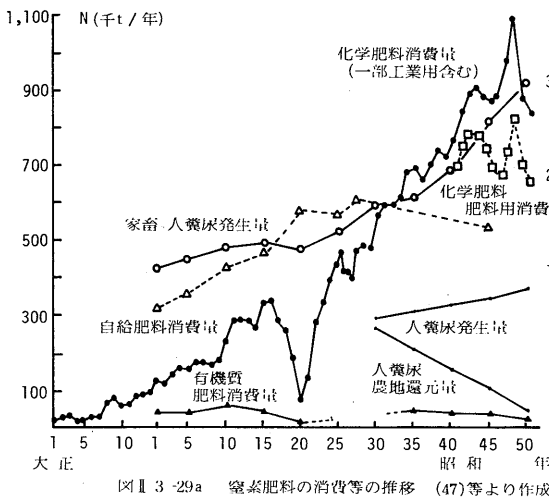
② 水稻栽培初期の表面流出負荷量調査の結果、標準施肥量に対する差し引き排出率は

Nで3.2～4.6%，Pで2.5～2.9％であり，とくにPについては，降雨時の表面流出負荷がかなり大きいものであることを認めた。

③ 農地へ投入された肥料成分のNでは15～30％，Pでは1～4％が排出されるとみてよいことを示した。

④ 家畜汚水のN，P発生負荷原単位の標準値として，表Ⅱ3-43に示すような値を設定した。

⑤ 肥料消費量等の経年変化と，農業地帯の地下水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経年変化から，農業の近代化が，農地のN，P排出負荷原単位を増大させてきた可能性のあることを検証した。



### 3・5 負荷量計算に関するまとめ

#### (1) 実測法と原単位計算法

① 実測法 実測値は直接的な情報であるので、負荷量算定にあたっては、実測法を重視すべきことは当然である。しかし、調査対象が非常に多岐にわたること、時間的変動が著しいことなどの理由で、実測法だけで正確な負荷量を求めるのは、とくに広域においては困難である。

② 原単位計算法 これに対し、原単位計算法は本章で設定してきたような原単位とこれに対応する発生源基数を乗じ、処理除去率、流達率などを考慮して負荷量の算定を行うものであり、実測法に比較して労力や費用が著しく少なくてすむ。また過去や将来の推定には本来この方法以外にない。さらに広域を対象とした場合、原単位法が一層有利になる。なお原単位法では次のような問題点が残されている。

i) 地域特性が十分考慮されぬ可能性がある。(工業排水の原単位、流達率等)

ii) 発生源基数や処理処分普及率の資料収集が意外に困難である。これはとくに集水域区分が小さい場合に言え、基数設定が精度の制限因子となることも多い。

iii) 現段階でもなお流達率の精度がやや不十分であり、さらにデータの蓄積を要する。

③ 両法の併用 負荷量計算の対象範囲の大きさ、計算の目的と要求される精度によって、流入負荷量の推定方法は異ってくるが、表Ⅱ 3-47には、流入形態ごとに精度よく負荷量を求めるための併用法をまとめている。

表Ⅱ 3-47 実測法と原単位法の併用による流入負荷の推定 (海域)

流入負荷の形態		方法の主体	備 考
降下物	直接海面降下	陸上の実測より推定	デポジットゲージを設置し、1～2ヶ月に1度収集分析する。
	排水区域内降下	実測 (参考値)	
河 川	大河川非感潮部	実測	変動特性を十分把握した上で、できるだけ頻度高く実測する。流量測定点。
	大河川感潮部	原単位計算 **	流量、実質水質の測定困難のため。
	小河川	原単位計算 **	負荷変動大で数が多いため。
地 下 水		原単位計算	流量測定困難、地域差大。実際には農地排水の原単位計算の誤差範囲のことも多い。大河川の伏流水等要検討。
下 水 道	終末処理場	実測 *	実測体制は十分あり。処理区域内の第三次産業、家内工業等の原単位未整備。
	ポンプ場下水路	原単位計算 **	負荷変動大で数が多い。
	雨水放流	原単位計算	負荷変動大で測定困難。晴天時に対して補正する。原単位未整備。
工業・事業場排水	直接海域への排出	実測 (原単位法) *	大規模なものは実測、小規模なものは原単位法。工場ごとにかなり実態が異なることに留意する。
養 殖		原単位	コイ、ウナギ、エビ、ハマチ、ブリなど飼料、肥料、水揚量などの収支の検討。
* 原単位法併用の場合、重複して計上することを避ける。			** 実測法併用の場合、昼間人口の移動に十分留意する。

このような併用法の問題点は、実測法によって計上された排出源と、原単位法によって計上すべき排出源の区分が困難なことである。たとえば下水処理場放流水を実測した場合は、処理区域内の工業出荷額や昼間人口移動に伴う負荷分は、残存域に対する原単位計算の際には除外しなくてはならないが、これらの明確な区分は通常困難である。

したがって実際にはどちらか一方に重点をおいた推定方法が実用的といえ、一般に対象範囲が小さい場合は実測法、大きい場合は原単位法が主体となるといえよう。

なお原単位法を行う場合でも、可能なかぎり実測を行い、地域に応じた原単位や排出率、流達率を設定したり検証に供することにより精度を上げることが大切であり、逆に実測法においても、原単位計算によって整合性をみることも必要である。

## (2) 原単位計算の手順

流達率については次章で詳しく論ずるが、ここで原単位法による流達負荷量（流入負荷量の計算方法をまとめておくと以下のようになる。

① 集水域区分の設定 集水域区分は其中での負荷流出率が発生源の種類ごとに同一とみなせ、さらに流下率も各汚濁項目ごとに同一の値が用いられるような設定がなされる必要がある。ただし大河川では便宜上、市町村を区分単位とするのが实际的である。

② 排出負荷の原単位計算 排出負荷の原単位計算の概要を巻末資料5に整理しているが、集水域区分に見合った発生源基数、処理処分率などの資料をまず収集し、次いで、各集水域区分ごとに基数と排出負荷原単位等をかけ合わせて、発生源の種類別にN、P排出負荷量を算出する。

③ 流達率 前項の各排出負荷量の計算値に対して、表Ⅱ4-17に示すような流出率、流下率を乗じて、当該水域への流入負荷量を算定する。

## (3) N、P負荷量計算方法の今後の課題

N、P流入負荷量の推定精度向上のための今後の課題を列举すると、

i) 人体における脱窒率 ii) 第三次産業排水の負荷原単位の体系化 iii) 工場排水の発生負荷と排出負荷原単位の分別、整備 iv) 農地排水のデータの蓄積 v) 自然性負荷のデータ蓄積 vi) 流達率のデータ蓄積と体系的理論化 vii) 河口感潮部のN、P浄化率 viii) 実測によるべき負荷量の測定体制の整備（大河川、下水処理場、デポジットゲージ等） ix) 原単位計算に必要な統計資料の整備（より正確な処理処分普及率、業務人口、昼間人口等）などがある。

上述のようになお検討すべきところも多く残されているとはいえ、N、P流入負荷量計算の精度は、水質予測において他の入力条件である流況や物質変化モデルの精度と同等程度以上に高めることができたと考えられる。

## Ⅱ - 4 河川の汚濁負荷流達率に関する研究

### 4・1 はじめに

ある地点で発生し、排出された汚濁物質が水路や河川などを経て、当該水域に到達（流入）する割合を流達率という。最近になって、汚濁物質の流出機構に関する研究は盛んになされてきているが、データの蓄積はなお不十分で、水域への流入負荷量を算定する上での最大の弱点となっている。本章では、その計算精度向上のために、計画論的な立場から

i) 流達率の基本概念を整理し、ii) 実態調査や文献調査によって、N、P流達率の概数値を把握し、iii) 計画パラメーターとしての流達率の基本的なモデル化を試みることを目的として研究を行った。

### 4・2 流達率の定義と問題点

(1) 流達率の用語法 本論文における流達率等の定義は以下の通りである。

$$\text{排出率} = \frac{\text{排出負荷量}}{\text{発生負荷量}} \quad \dots\dots\dots(1) \qquad \text{流達率} = \frac{\text{流達負荷量}}{\text{排出負荷量}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{流出率} = \frac{\text{支川合流点への流出負荷量}}{\text{流域内排出負荷量}} \quad \dots\dots\dots(3) \qquad \text{流下率} = \frac{\text{当該水域への流達負荷量}}{\text{支川合流点への流出負荷量}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{流達率} = \text{流出率} \times \text{流下率} \quad \dots\dots\dots(5)$$

流達負荷量を直接、発生負荷量に対応させ、流達率を排出率を含んだものとする考え方もあるが、汚濁負荷発生源の構造をよりよく理解するためには、上述のように発生負荷量と排出負荷量は区別した方がよい。

流達率についても、流出率と流下率の2段階に分け、排出点から、溝水路などを経て、川に流れ出るまでを流出率、川に出てから当該水域に流れ下るまでを流下率、両者を合わせて、排出点から当該水域へ到達するまでを流達率とする。

流域下水道の調査指針<sup>4)</sup>では、流出率と流達率の関係が逆になっており、本論文でいう、流出率を流達率、流下率を浄化残率、流達率を流出率と定義している。しかし同指針では「流出率は対象水域が河川の場合に使用し……言々……」、「湖沼や海域の水質解析には、年間平均的な流達率を用いる……」といった表現もあり、言葉から受ける印象も考慮して、上述のような用語法を採用した。

#### (2) 流達率における問題点

① まず山林からの流出負荷など、自然性の負荷にも流達率を適用するのかという点である。前章で述べたように、流達率は人為的な発生源から排出された負荷が自然環境中の水の動きによってどの程度当該水域に到達するのかという割合であると考え

れば、山林流出負荷等の流達率は流出率、流下率ともに1として、とくに考慮しなくてもよい。少くとも、負荷量算定の精度上は、その方が实际的であると考えられる。具体的には自然性負荷原単位を河川ごとに設定し、流達率を1として人為的負荷源に準じた扱いをするか、あるいは河川水質からあるバックグラウンド水質を自然性由来分として差し引き、人為的な負荷の流達のみを論ずるか2通りの方法が考えられる。

ただし、温泉湧出水、森林伐採による一時的な排出負荷の増大、採石、宅地造成などに伴う浸食土の流出等、人為性と自然性の区別が判然としないものの扱いについては、あいまいなところが残されている。

② 排出負荷源の種類ごとに流出率を変える必要があるか 流出率は排出の方法、排出先の水路の状況、気象条件等によって支配され、農村地帯か市街地かなどにより流出率の差があると考えられるが、負荷源の種類によっても、工場排水のように整備された水路に排出されるか、あるいは直接河川に放流されるようなものか、あるいは農地排水のように面的なものかにより、異ってくるものと考えられる。先の(1)式～(5)式は本来発生源の種類ごとに適用されるべきものであるが、流達負荷の流域内総排出負荷に対する割合を総括流達率として用いることもできる。

③ 流出率を考える集水域の大きさとしてどの程度のものを想定するのか 支川合流点と一口に言っても、その集水域の規模は様々である。場合によっては大河川流域を一括してしまうこともできるわけであるが、一般に流出率を考える集水域区分の設定にあたって挙げられることは i) 集水域区分内の発生、排出負荷が正確かつ効率的に算定できること、ii) 集水域区分内の発生・排出負荷を一括して扱い、これにその集水域内一律の流出率を乗じて流出負荷を算定することが無理でない程度の大きさであること、

iii) 降雨量と流出水量の解析が容易なように、雨が集水域区分内で一様に降るような集水域規模が適当であること、

iv) 流出先が少くとも河川支流部で、流出負荷の測定が可能であり、他地域に対してその流出率を敷衍できる程度の一般性をもつような集水域の大きさであることである。

これらの諸点を考慮すると、流出率を適用する集水域区分の大きさは100～1,000 ha ぐらいの広さが適当ではないかと考えられる。

流達率を流出率、流下率の二段構えとせず、小流域から大流域まで一括して総括流達率として扱ってしまうのは、以下の理由であまり合理的とは言えない。

i) 集水域内の各排出負荷源の位置の遠近により、流達率が大きく影響され、関数化が困難となること

ii) 集水域内の降雨が局地的で、データ解析が困難であること。たとえば大河川のある断

面で流達負荷量調査を行う場合、通常の降雨では観測点近くの支川流域からの降雨時流出の形状が本川の大量の水に希釈されて現われてくるということになり、小流域で得られるような汚濁負荷流出グラフが得られるのは、年に1度か2度ある程度の大豪雨の場合のみということになる。

iii) 河川の水質管理を目的とする場合には当然、集水域区分の大きさは自づと限定される。

④ 流下率について 流下率に影響する因子としては、降雨量や降雨流出率あるいは比流量などが考えられるが、その他に河川に入ってから移動変化過程を考えているので、流下距離、流下時間が重要な因子となってくる。河口に至るまでに農業用水などに何度も取水されて利用されれば、場は線的なものから再び面的なものとなり、流下率は小さくなっていくなど、流下率を考える場合には河川利水の状況を十分把握しておく必要がある。

流下率を推定する方法としては、一応次のような手順が考えられる。

i) 単位流域区分ごとに発生・排出負荷の計算値をそろえ、それぞれに適当な流出率をあてはめる。

ii) 当該水域への流入点において、水質、流量測定を密に行い、バックグラウンド水質を差しひいて、人為性負荷源由来の流達負荷を算出する。

iii) 流下率を同一とみなせる集水域ブロック群に対し、適当な流下率を与え、もっともよく流達負荷を説明できる流下率を試行錯誤により決定する。

また別の面から、河川の自浄作用を定量的に明らかにしていくことにより、流下率の設定の参考とすることも必要であろう。

⑤ 地下水に伴う負荷の流出はどのように評価するのか 地下水に伴う負荷は水質は測定しえても、一般に流量の測定が困難で、量的把握がむずかしい。したがって通常は表流水に伴う流達負荷のみを実測して、流達率を求める場合が多いが、本来は地下水（伏流水など）に伴う流達負荷も何らかの方法で求めて、表流水の負荷に加算すべきところである。

後述する著者らの4河川の流達率調査でも表流水の負荷しか測定していないので、その意味では、流達率はやや過少評価になる可能性がある。

しかし上、中流部で地下水経由で流出した負荷は中、下流部で再び表流水となる部分がほとんどであり、下流の調査地点で伏流水による負荷を無視しても大きい誤差にはつながらないと考えられる。また濃度からみても、問題になるのは農地排水由来の $\text{NO}_3\text{-N}$ 程度であろう。ただし枯川など河川によって、また調査地点によっては伏流水の負荷を無視しえない場合もあろう。



⑥ 汚濁負荷の排出と流達にはそれぞれの時間変動があるが、それをどのように流達率で表現していくか。たとえば、肥料流出は季節変化が顕著で、しかも降雨時の流出が主体をなすが、流達率を考える場合、排出負荷そのものの季節変動を考慮する必要があるかという点である。この点については、より厳密に河川の自浄作用を研究するような場合には、排出負荷の時間変動も考慮に入れ、時間スケールも短い議論が要求されるが、湖や海の富栄養化を問題にするのであれば、年平均的あるいはせいぜい月平均的な時間スケールの議論をすれば足る。つまり、計画論的な立場からすれば、停滞水域への流入負荷の季節変化を知りたい場合でも、排出負荷は年平均値として固定し、流達率に季節変化を与えて実質的に流達負荷（当該水域への流入負荷）の季節変動を表現すればよい。

いずれにしても、流達率に関するデータの蓄積はまだまだ不十分な状況にあり、次節において従来の流達率に関する研究例を紹介するが、降雨時を含めた年間流達負荷をきっちりと測定したものはなお数少ない。今後小河川から大河川まで体系だったデータの蓄積が各方面においてなされ、汚濁負荷流達率の定式化がなされる必要がある。

#### 4・3 流達率調査報告例

流達率に関する報告例を巻末資料6にまとめた。流達率は定義が定まっていないために、流達率の値だけをとりだして議論するのはさしひかえた方がよい。排出負荷に発生負荷をとっているものもあるし、排出負荷の算定方法も様々である。また流達負荷の実測値も、調査頻度、調査方法によって精度は大巾に異なってくる。

したがって流達率の値を引用する場合には、排出負荷の計算条件、流達負荷の測定条件を十分吟味し、付記しておく必要がある。同資料では備考欄にできるだけ詳しく算出方法を記しておくが、排出負荷の計算を著者がやり直したのもいくつかあり、これらについては原報の値とは異なってきているので注意を要する。

なお山林負荷については、一応原報のまま、排出負荷に加えた計算になっている。また調査対象流域の大きさも様々であるので、先に述べた流出率、流達率の定義に従うものではなく、両者の区分が明確でない。少なくとも、それが晴天時の値か降雨時を含めたものの区別ははっきりしておく必要がある。

① 村上<sup>5)</sup>は14の河川流域についてのBOD流出率を算出し、流出率は一部の川を除いて、人口密度/ $\sqrt{\text{流域面積}}$ との間にかなり密接な関係があると報告している。

② 稲場・堂々<sup>6)</sup>は住宅、市街地からのN、P流出率を5つの地域について求めている。排出負荷算定精度があまり高くないと思われるが、コンクリート水路より素堀水路の方が流出率は小さくなっている。

③ 建設省の霞ヶ浦<sup>7)</sup>における流達率調査は排出負荷の推定、流達負荷の実測とも非常に

確度の高いものである。

そのうち恋瀬、山王、園部の3河川の実測は、通年毎日、毎時採水の流量比混合試料について行なわれたものであり、非常に貴重なデータである。ただし $\text{NO}_3\text{-N}$ だけは毎日分析されておらず、木曜日だけの試料について分析し、その値をその週の代表濃度としているので、農業排水についてはやや情報価値が低い。

排出負荷のうち、家畜汚水と肥料流出について、著者の方法で計算しなおし、流達率を求めてみた結果は、3河川についてそれぞれ、 $\text{N}$  88, 66, 86%, 平均80%,  $\text{P}$  56, 77, 87%, 平均73%とかなり高い値となっている。

④ 小林、中島、三好らは千葉県の<sup>8), 9)</sup>2河川において、冬期1~3回の通日調査から、排出負荷は著者の方法とほぼ同様の方法で算出し、晴天時の流達率を求めている。家畜、農地排水の排出負荷を若干補正して著者が計算しなおした流達率を巻末の資料にあげている。

注目すべきは、桑納川の総括流達率が $\text{COD}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{P}$ それぞれ70, 106, 156%と非常に高いのに対して、神崎川では、9, 9, 20%とかなり低い値を示していることである。支川への流出後の流下率だけとりだして比較した場合、桑納川では $\text{COD}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{P}$ それぞれ90, 103, 94%とほとんど途中の浄化がないのに対し、神崎川では58, 66, 62%とかなりの浄化がなされている。また支川までの流出率の部分と比較すると、桑納川では $\text{COD}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{P}$ それぞれ78, 103, 167%であるのに対し、神崎川では15, 13, 32%と、どちらかといえば、流出率の段階での違いが大きい。

原著者らはその報告書において、神崎川は「生きた川」、桑納川は「死んだ川」と表現し、「川が汚濁負荷量のインパクトに対して、常に比例的に反応するのではなく、ある緩衝力をこえるとカタストロフ的に汚濁が進行するのではないか」としているが、非常に興味ある指摘であると考えられる。

⑤ 国松らは<sup>10)</sup>昭和53年8月から昭和54年7月の1年間、琵琶湖からの3つの流出経路である瀬田川、疎水、発電所送水の水質調査を毎日実施し、琵琶湖からの流出負荷実測値として、 $\text{N}$  6.3 t/日、 $\text{P}$  0.50 t/日を得、流出水量を平年値 $165 \text{ m}^3/\text{S}$ に合わせることで、補正值として、 $\text{N}$  8.83 t/日、 $\text{P}$  0.672 t/日という値を報告している。

一方、滋賀県が行っている瀬田川の昭和52年度水質監視データに、同地点での年平均流量 $119 \text{ m}^3/\text{S}$ をかけて求めた、瀬田川経由の流出負荷は $\text{COD}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{P}$ それぞれ13.7, 4.87, 0.233 t/日である。この県のデータの $\text{COD}/\text{N}$ を国松の先の補正值 $\text{N}$  8.83 t/日に乗じると、 $\text{COD}$ は24.8 t/日と推定される。

これに対して、著者が昭和52年における琵琶湖流域の排出負荷を原単位計算により、推定した結果は表Ⅱ4-1に示すように、 $\text{COD}$  56.9 t/日、 $\text{N}$  21.6 t/日、 $\text{P}$  2.39

t/日となっている。

したがって、琵琶湖流域のCOD, N, P総括流達率はそれぞれ44, 41, 28%ということになり、湖内における沈殿や自浄作用のためにやや小さめの値が得られる。

表Ⅱ4-1 琵琶湖流域の排出負荷（昭和52）（t/日）

	生活下水	工場排水	家畜汚水	農地排水	自然性負荷	合 計
COD	18.3	18.0	0.8	7.0	12.8	56.9
N	6.9	5.9	1.4	4.8	2.6	21.6
P	1.21	0.73	0.05	0.23	0.17	2.39

#### 4・4 塩田川におけるN, P流出率調査<sup>11)</sup>

##### (1) 調査目的

本調査の目的は、i) 小河川における降雨時を含めたN, P流出率を正確に実測し、  
ii) N, Pの流出機構について考察することである。

##### (2) 調査方法

① 対象河川 調査対象として選んだ塩田川は瀬戸内海地方の都市周辺の典型的な小河川であり、山口大学工学部が流域のほぼ中央に位置するなど好都合な条件をもっている。一方流域の一部が分流式下水道処理区域となっており、調査期間（昭和48年10月～翌9月）も下水道整備は進行中である。また採水点より700m下流に真締川感潮部の水門があり満潮と降雨が重なると、水門の影響で水位が上昇して滞留する場合がある。

② 排出負荷の算定 従来の原単位計算の方法で行ったが、流出率の精度には直接きいてくるので、できるだけ詳細に調査して精度を上げることにつとめた。

i) 集水面積 流域内の下水処理区は分流式であるので、集水面積は地形図、現地踏査から求めた流域面積をそのままあてはめることができる。結果は508haとなった。なお分水線の最大標高は35mである。

ii) 流域人口 508ha中の全はりつき人口を求めるために、市住民課資料から行政区ごとに流域に係る人口を抜き出した。境界域については、住宅地図による戸数のわりふり、現地調査によって人口をふりわけた。集計すると7,711世帯、25,447人となった。したがって人口密度は50人/haである。

iii) 雑排水未処理人口 公害防止計画で市下水道課が計



図Ⅱ4-1 塩田川調査地域の概要

算している塩田川への排水区域人口は13,020人である。したがって流域内の昭和49年における下水道排水区域人口は $25,450 - 13,020 = 12,430$ 人となる。一方環境衛生連合会の昭和49年6月の水洗区域内汲取便所集計表により、関係行政区について集計してみると、2,571戸のうち、2,011戸が水洗化して、560戸がくみとりのままである。また後述する浄化槽の調査によると、下水道排水区域内において、浄化槽のままつけ替え工事をしていないものが、20戸程度あるので、水洗化して下水道に入っている人口は $12,430 \times (2,011 - 20) / 2,571 = 9,630$ 人となる。さらに下水道料金の集金伝票から、当該地区について排水設備済戸数と水洗化戸数の比率を求めると、 $1,228 / 1,136$ であったので、当流域内雑排水処理人口は $9,630 \times 1,228 / 1,136 = 10,410$ 人となる。

したがって雑排水未処理人口は $25,450 - 10,410 = 15,000$ 人である。雑排水の原単位としては $N 3.0 g / 人 \cdot 日$ 、 $P 1.0 g / 人 \cdot 日$ を用いた。

iv) 浄化槽人口 保健所の浄化槽設置届出台帳のカード約1,400枚の中から、流域に係る地区に属するものを抜き出した。このうちすでに下水道に切り替っているもの、まだカードに上ってきていないもの、無届けのものがあつたりして実態に合っていないところもかなりある。そこで慎重を期するため、約150台につき、電話での聞きとりを行った。

なお新しい集合住宅などで台帳になかったものについても、数台追加した。家庭用については、聞きとりした平均使用人数が4.5人/台 ( $n=55$ ) であったので、この値を用いて使用人口を計算した。

原単位としては当流域で実態調査してえられた平均濃度(表Ⅱ 8-7)に標準的な水使用量 $35 l / 人 \cdot 日$ を乗じたものを使用した。事務所については職員数を電話で聞きとり、これに流総指針の原単位を使用した。学校は水量の把握が困難なため、それぞれの使用実態を

表Ⅱ 4-2a 流域内浄化槽の放流水の水質

	調査数 台	平均濃度 ppm	
		N	P
個人住宅	41	151	15.9
集合住宅			
事務所	29	72	11.5
学校・病院	13	70	7.4

表Ⅱ 4-2b 浄化槽放流水による N , P 負荷

	台帳 台数	稼動 台数	使用人数 (人)	原単位など	放流負荷kg/日	
					N	P
個人住宅	93	86	4.5人/台 390	水量 $35 l / 人 \cdot 日$ $N 150, P 16 mg / l$	6.1	0.65
集合住宅	28	19	集計して 800			
事務所・ 医 院	34	18	500	$N 2.1, P 0.9 g / 人 \cdot 日$	1.1	0.09
学 校	10	7	職員及び 生徒数 3,630	休日の補正 0.64 除去率 $N, P 0.7$	5.0	0.50
計					12.2	1.24

考慮して(し: N1.5, P0.4g/人・日, 尿N8.5, P0.7g/人・日), 浄化槽への流入負荷を計算し, これに休日の補正0.64, 排出率, 0.7を乗じて計算した。(表Ⅱ4-2a, b)。

V) 農地面積および肥料排出量 地区ごとの収穫面積を記述した農業センサス(昭和45年)より, 休耕率, 作物別作付率を昭和48, 9年にも適用した。一方税務関係資料として, 田畑の経営面積は毎年把握されているので, 流域に係る地区分を抜き出し, 集計して, 田9,511a, 畑4,472aが得られた。センサスによると, 流域に係る地域の昭和45年の田経営面積12,860aに対し, 作付けされた田12,052a, そのうち裏作した田1,602aとなっている。同様に畑経営面積4,374aに対して, 作物別の収穫面積が示されている。これらの関係から推定した昭和48年の作物別収穫面積, 施肥料, 排出量を表Ⅱ4-3にまとめた。施肥量(単位面積あたり)は宇部地区農業改良普及所, 市農政課へのききとりなどにより, 実情に近い値を用いた。排出率はN30%, P畑2%, 田4%で計算した。年間の施肥量はNで25.8t, P7.91tであり, 排出量は日量にして, N21.2kg, P0.65kgとなる。

Vi) 家畜 豚飼養頭数は悪臭防止法の規制地域指定のための調査資料より, 養鶏については電話番号簿の業者に聞きとりを行って, 飼養羽数を求めた。当流域は昭48年末改定の利用地域でほとんど第2種住居専用地区にあたり, ここ3,4年の間に郊外に移った業者も多く, 家畜による負荷はほとんど無視しうる程度である。

Vii) 工場排水 流域内には, N, P発生源となる大きな工場はあまり存在しない。公害防止計画の事業所資料や電話番号簿から主なものを拾ってみると, 食品工場10, クリーニング業5程度でいずれも10m<sup>3</sup>/日前後の小工場がほとんどである。この中の5工場について負荷量調査を行い, その他については, これらのデータより類推して, 計N3.1kg/日, P0.7kg/日を算出した。この他に流域内には, 理容・美容室40, 食堂40が存在するが, これら小口のは家庭雑排水の原単位の中に入るとして考慮に入れなかった。

Viii) デポジット 当流域は臨海の肥料工業からのばいじんによるN, P供給が無視しえないので, 実験室横に設置した漏斗に雨を受け, 約1mの導管を通して採水した水の負荷量を測定した。漏斗や導管の部分にごみが貯ったりして, 後章で述べるデポジットゲージによる負荷量に比べるとN, Pとも30%程度低めの値が得られている。流域の中心部よりはやや工場群から離れた位置であるので, この値をそのまま, 排出率は100%として, 排出負荷に計上することにする。結果は表Ⅱ4-4に示す通りであり, 月別にかなりの変動を示すが, 年平均してN11.3kg/日, P0.95kg/日を考える必要がある。

③ 流出負荷の測定 昭和48年10月より1年間, ほとんど全降雨時に流出負荷を調査するよう努めた。何らかの理由で採水できなかった降雨はほとんどが5mm以下の小雨

表Ⅱ 4-3 肥料流出による負荷

	昭和48年 収穫面積 a	施肥強度 kg/ha		施 肥 量 Kg	
		N	P	N	P
稲	8,911	105	45	9,357	4,010
麦	1,213	80	39	970	473
い も	531	110	55	584	292
ま め	502	35	35	176	176
なたね	58	200	80	116	46
野 菜	5,137	280	55	14,380	2,825
花 き	40	200	80	80	32
種 苗	59	150	70	86	40
飼料用	41	150	35	60	14
施肥量計				25,800	7,910
流出量				7,740	237

表Ⅱ 4-4 デポジットによる負荷

昭和 年・月	供 給 負 荷 kg/日			
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2,3</sub> -N	N 計	PO <sub>4</sub> -P
48. 9	8.1	5.4	13.5	1.07
10	4.3	1.6	5.9	0.31
11	2.7	2.2	4.9	0.68
12	6.7	0.9	7.6	1.74
49. 1	0.5	0.4	0.9	0.31
2	5.8	2.8	8.6	1.03
3	5.6	4.9	10.5	0.79
4	6.1	2.7	8.8	1.20
5	5.1	1.7	6.8	0.46
6	3.0	2.9	5.9	0.83
7	26.2	7.4	33.6	1.38
8	2.3	1.3	3.6	0.54
9	19.3	6.1	25.4	1.10
平 均			11.3	0.95

であるが、69回の雨のうち13回ある。

晴天時の調査はこれに比べて、やや不十分

であるが、9回程度の実測を行った。

i) 採水方法 主として1時間あるいは2時間ごとに、横断1点からアンドリュスの自動採水器により採水した。採水口には浮子をつけ、水面下10cm程度から採水できるように調節した。時に応じて、より短い間隔で手採水も行った。

ii) 分析方法 分析はそのままの試料につき、KjN, TP, NO<sub>5</sub>Cろ液につき、NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2,3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pを分析した。分析は原則として、24時間以内に行った。

iii) 流量の測定 採水点に手製の浮子型水位計を設置し、水位流量曲線を求めて、水位を流量に換算した。昭和49年7月16日の大雨で、一旦水位計が倒れ、8月に入って再設置した。干潮時の20回前後のQ, Hの測定から、 $\sqrt{Q}=a(H+b)$ の関係を用い、a, bを最小自乗法により決定した。昭和48年12

月18日～昭和49年7月16日までは

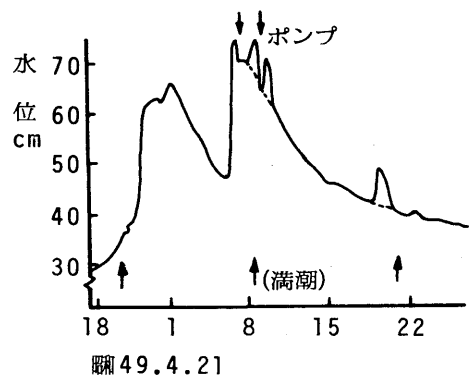
$$\sqrt{Q}=3.44(H-0.203) \quad \cdots \cdots (6)$$

昭和49年8月24日から

$$\sqrt{Q}=3.00(H-0.057) \quad \cdots \cdots (7)$$

である。

先述したように満潮時に降雨が重なった場合、水位が上昇して滞流することがあるが、水位曲線をみればこのピークは直線的で、自然の流出の形



図Ⅱ 4-2 降雨時水位変化

状とは区別ができる。また時によっては真締川との合流点で雨水ポンプが稼動することがある。この場合も採水点の少し下流で急勾配となっているため、測定点の水位はポンプの稼動によって、潮位の影響を受けない自然流下の際の水位よりも低くなることはない。

このような水位変化の例を図Ⅱ 4-2に示した。この図で流量は点線の水位について換算して求めることにした。

iv) 雨量と流出水量 雨量は工学部での  $0.5\text{ mm}$ 毎の転倒式自記雨量計による測定値を用いた。降雨時あるいは、洪水期間の定義としては、原則として水位上昇開始から、減衰曲線の2つめの変曲点までの間をあてた。基底流量は予想される晴天時の流量とした。

今、洪水期間中の全流出水量を  $Q$ 、基底流量を  $Q_0$  とし、雨量を  $R$ 、流域面積を  $A$  で表わすと、正味の流出水量  $Q_E$  は  $Q_E = Q - Q_0 \cdots \cdots (8)$

$Q_R = R \cdot A \cdots \cdots (9)$  とすると流出率  $C$  は  $C = Q_E / Q_R \cdots \cdots (10)$

この  $C$  をデータのある降雨について求めて整理し、水位のデータのない降雨時についてはこれらのデータより、諸条件を勘案して推定した  $C$  を用いて  $Q_E$  を算出し、それに適当な  $Q_0$  を加算して全流出水量を推定した。

v) 降雨時流出負荷の算定 流出負荷の算定は次のいずれかの方法によった。

イ) 流量水質ともに時間変化のデータがあるとき……負荷～時間変化を描き、洪水期間の面積を求める(A法)。 同方法であるがシンプソン法で計算する(B法)。

ロ) 水質の時間変化データが不十分な場合……数点の水質測定値の平均値に全流出量  $Q$  を乗じて流出負荷を求める(C法)。

ハ) 流量、水質のどちらかあるいは両方欠けている場合……流量は先述した方法で  $Q$  を推定し、これに平均濃度を乗じて負荷を求める(D<sub>Q</sub>法)。 水質がないときは類似した降雨時の水質データから平均濃度を類推し、 $Q$  の実測値に乘じる(D<sub>C</sub>法)。 両者とも推定によるときはD法とした(D法)。

このようにして一降雨ごとの降雨時流出負荷を算出し、半月ごとに集計した。また晴天時流出負荷は季節ごとに設定した晴天時日負荷量に、洪水期間以外の日数を乗じて求め、両者を合計して、その半月の流出負荷とした。

④ 流出率 流出負荷の排出負荷に対する割合を流出率とし、この値を半月ごとに求めた。その際、肥料流出、デポジットによる排出負荷には季節変動があり、また下水道整備の進行によって少しは排出負荷は減少しているはずであるが、ここではこれらの要素は無視し、調査期間中の排出負荷を固定して流出率を計算した。

### (3) 調査結果

① 排出負荷 排出負荷の計算結果を一覧表にすると、表Ⅱ 4-5 のようになる。日

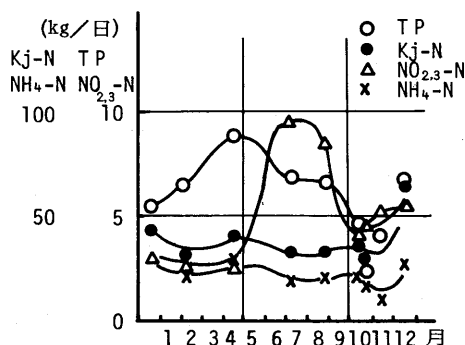
表Ⅱ 4-5 N, Pの排出負荷

	排出負荷 kg/日	
	N	P
家庭雑排水	45	15
浄化槽	12.2	1.24
肥料流出	21.2	0.65
家畜汚水	1.2	0.09
工場排水	3.9	0.7
デポジット	11.3	0.95
計	94.8	18.6

表Ⅱ 4-6

晴天時流出負荷

年.月.日	流出負荷 kg/日			
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2,3</sub> -N	Kj-N	T-P
47.11.15~16	8.9	5.1		3.9
48.12		3.0	43.5	5.5
49. 2.12~13	21.0	2.6	31.8	6.5
49. 3~49. 6	28.0	2.6	40.2	8.8
49. 6~49. 7	17.9	9.5	31.5	6.9
49. 7~49. 9	20.0	8.4	33.0	6.6
49.10.15	19.1	3.9	35.6	4.7
49.10 後	15.8	4.3	30.1	2.4
49.12.19	26.4	5.4	63.3	6.7
平均		5.0	38.6	5.8



図Ⅱ 4-3 晴天時流出負荷実測値

量, N 9 4.8 kg, P 1 8.8 kgとなった。

② 流出負荷 晴天時流出負荷の実測値を表Ⅱ 4-6, 図 4-3 にまとめた。平均的な負荷として N 4 3 kg/日, P 5.8 kg/日が得られた。

降雨時流出負荷の計算値は流出水量に対する平均濃度, 計算方法とともに, 巻末資料 7 にまとめて示している。これらより半月ごとの流出負荷量

の積算値を求めた結果は同じく巻末資料 8 にまとめている。昭和 48 年 10 月下旬から翌年 1 0 月上旬までの年間総流出負荷集計値は表Ⅱ 4-7 に示すとおりである。日量に換算すると N 8 4.8 kg, P 1 4.9 kgとなった。N, Pとも降雨日の流出の方が晴天日の流出より多く, 降雨日には晴天日流出負荷集計値の 1.5~1.6 倍が流出する。

③ 流出率 N, P負荷流出率の季節変化を図Ⅱ 4-4, 図Ⅱ 4-5 に示した。降雨時をならした通年の流出率は N 0.8 9, P 0.8 0 となり, 一方晴天時の流出率は N 0.4 6, P 0.3 1 の程度である。なお 6 月 20 日から 9 月 27 日まで計 1 0 0 日間, 日量約 1 万 m<sup>3</sup> の農業用水を常盤湖より通水しているが, 水質は N 0.5 mg/ℓ, P 0.1 mg/ℓ の程度であるので, 通水期間で N 5 kg/日, P 1 kg/日, 年間ならして, N 1.4 kg/日, P 0.2 7 kg/日とさほど大きい値ではない。この分を排出負荷に加算して流出率を補正すると, N 0.8 7, P 0.7 9 となる

次に, 塩田川流域の南側には肥料工場群があり, 一応, 工学部に設置した漏斗で受けた雨水負荷の実測値を排出負荷に計上して, この影響を考慮したが, 若干過少評価の可能性はある。しかし, 本調査と並行して行っていたデポジットゲージ法による大気経由の N, P 負荷量調査より判断すると, 当初見積っていた負荷の N で 2 倍, P で 3 倍程度と考えれ



ば十分であり、この分をさらに補正とするならば、排出負荷は $N\ 108\text{Kg}/\text{日}$ 、 $P\ 20.8\text{Kg}/\text{日}$ となり、 $\text{N}$ の流出率は $0.79$ 、 $P$ の流出率は $0.72$ 、晴天時流出率は $N\ 0.36$ 、 $P\ 0.28$ となる。

図Ⅱ4-4、5に示した流出率季節変化、図Ⅱ4-6の降雨量変化とよく対応しており、冬季は流出率 $0.5$ 以下で、流路途中で $N$ 、 $P$ が貯留され、4月、梅雨期、9月の多雨期では流出率が $1.0$ を大きく越え、少雨期に蓄積していた汚濁物質を洗い流す経緯がよく読みとれる。降雨時の流出特性については後節において述べる。

(4) 調査結果の要約

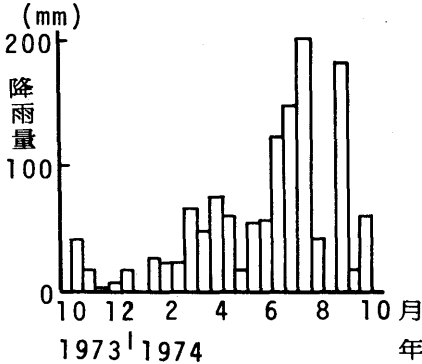
流域面積 $508\text{ha}$ の小河川について、降雨時を主体に通年の流量、水質調査を行い、

① 通年の $N$ 、 $P$ 流出率は $N\ 0.87$ 、 $P\ 0.79$ であった。降下ばいじんによる負荷を大きめに見積った場合は通年で $N\ 0.79$ 、 $P\ 0.72$ 、晴天時で $N\ 0.36$ 、 $P\ 0.28$ となる。

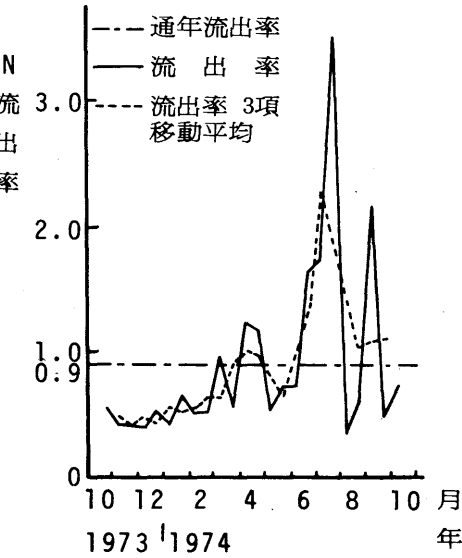
② 流出率は降雨量によって著しい影響を受け、そのために流出率は顕著な季節変化を示すことが確認された。

表Ⅱ4-7 塩田川年間総流出負荷 (kg)

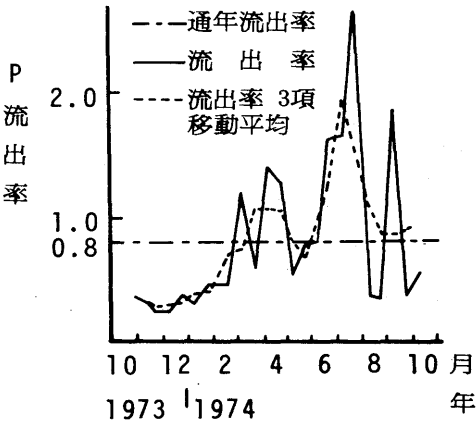
	晴天時	降雨時	雨/晴	合 計
$\text{NH}_4\text{-N}$	6,637	4,431	0.67	11,068
$\text{NO}_{2,3}\text{-N}$	1,626	6,327	3.89	7,953
$\text{Kj-N}$	10,963	12,026	1.10	22,989
$\text{T-P}$	2,017	3,405	1.64	5,422



図Ⅱ4-6 降雨量



図Ⅱ4-4 N 流出率の季節変動



図Ⅱ4-5 P 流出率の季節変動

#### 4・5 大河川における流達率調査

大河川については流域内の降雨分布が偏在すること、流下距離、流下時間が大きく、その間の物質変化を考慮しなくてはならないなど、先の塩田川のような小河川と同じように扱うわけにはいかない。ここでは、瀬戸内海にそそぐ3つの1, 2級河川について流達率調査の結果を述べ、大河川における流達率の考え方について論じる。

##### (1) 調査目的

本調査の目的は、i) 大河川における降雨時を含めたN, P流達率を実測し、その関数化を検討する, ii) 流量と水質、流量と負荷量の関係を解析する, iii) N, Pの流達機構について考察することである。

##### (2) 調査河川の概要および調査方法

調査した3河川の概要を表Ⅱ4-8にまとめた。3河川のうち厚東川はさしたる負荷源はなく、取水点がダム湖尻であること、加古川では西脇市付近の繊維工業によるCOD, P負荷が大きいこと、揖保川では竜野市付近の皮革工業によるCOD, N負荷の影響が大きいことに注意が必要である。

調査期間は厚東川では昭和54年6月15日から昭和56年6月30日までの約2年間、加古川は昭和54年8月27日から昭和55年9月30日まで、揖保川は昭和54年8月6日から昭和55年9月30日までの約1年間である。採水はいずれも工業用水原水で代用した。

採水頻度は、厚東川では午前中1日1回、他2河川では水質変動の特性を考慮して加古川では4時と16時、揖保川では8時と20時の1日2回である。分析項目はCOD, sol COD (sol:溶解性), inorg N, Kj-N, sol Kj-N, PO<sub>4</sub>-P, TP, sol TPの9項目である。運搬と分析の都合上、試料は保存処理後1週間分ずつまとめて分析した。兵庫県内の2河川についても試料を空輸して山口大学工学部にて分析を行った。

流量は厚東川においてはダム管理事務所の放水量等を利用し、他2河川については、1級河川流量測定点の水位を昭和53年の水位流量換算式にあてはめて算定した。

一方、流域排出負荷量は市町村ごとの原単位計算によって求めたが、原単位の設定にたっては十分慎重を期するとともに、地域性を考慮し、加古川の繊維、揖保川の皮革工業については実態調査を行って推定精度の向上につとめた。また3河川の上流部水質調査も1回ずつ行った。

計算に用いた原単位および排出率等を表Ⅱ4-9～13に示しておく。

##### (3) 調査結果および考察

① 流達負荷 流達負荷実測値の月別変化を図Ⅱ4-8に示す。流達負荷量の変化は概ね流量の変化に依存し、降雨量の大きい月に負荷量が大きくなっている。またCOD,

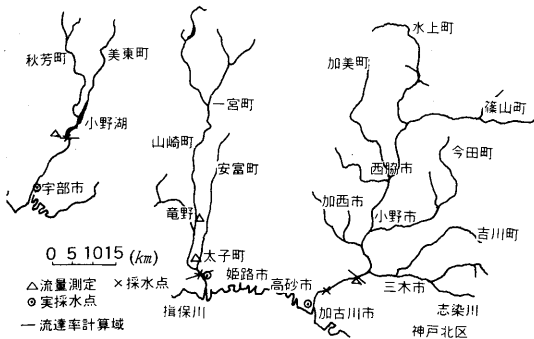


図 Ⅱ 4-7 調査河川の流域

表 Ⅱ 4-9 家庭下水の原単位および排出率

		COD	TN	TP
し尿	原単位 (g/人/日)	15	10.2	1.14
	排出率			
	し尿処理 単独浄化槽	0.18	0.585	0.50
	合併浄化槽	0.6	0.85	0.85
	自家処理	0.3	0.6	0.7
雑排水	原単位 (g/人/日)	16	2.0	0.62
	排出率			
	未処理 合併処理	1	1	1
		0.3	0.6	0.7

(他に浄化槽汚泥を考慮した。)

表 Ⅱ 4-11 肥料流出の原単位

	施 肥 量 (kg/ha/年)				排 出 率	
	兵 庫 県		山 口 県			
	N	P	N	P	N	P
米	85	37	74	32.4	0.2	0.03
麦・雑穀	162	57	67	20.8	0.3	0.02
い も	183	78	60	13.0	〃	〃
豆	60	36	10	17.5	〃	〃
野 菜	276	115	169	35.3	〃	〃
果 樹	219	83	186	67.6	〃	〃
工芸作物	198	38	251	47.3	〃	〃
桑	125	30	250	26.2	〃	〃
飼肥料作物	104	50	101	24.7	0.2	0.01
その他	93	22.7	—	—	0.25	0.02

(COD 負荷は P 負荷×20により求める。)

表 Ⅱ 4-8 調査河川の概要

	厚東川	加古川	揖保川
流域面積 (km <sup>2</sup> )	405	1,730	810
うち (調査対象分)	(324)	(1,639)	(809)
幹線流路 延長 (km)	60	96	70
流量測定点	厚東川ダム 流下水量	国包流量	竜野流量 + 林田川構流量
平均流量 (m <sup>3</sup> /S)	10.58	45.6	28.4 (竜野流量のみ)
比流量 (千 m <sup>3</sup> /日/km <sup>2</sup> )	2.82	2.40	3.75 (竜野 655 km <sup>2</sup> )
常住人口 (千人)	19.2	405.4	115.8
人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	59	247	143
採水地点	厚東川ダム尻 (平原分水槽)	高砂市取水点 (K社浄水所)	上川原取水堰 (S社浄水場)

表 Ⅱ 4-10 家畜汚水の原単位 (g/頭・羽/日)

		兵庫県			山口県		
		COD	N	P	COD	N	P
牛	肉牛飼養頭数 + 乳牛飼養頭数	26.7	43.6	0.86	27.4	45.8	0.81
豚	飼養頭数	11.4	9.49	0.89	7.11	8.68	0.47
鶏	採卵鶏飼養羽数 + 1/2 × プロイラー飼養羽数	0.124	0.42	0.019	0.14	0.46	0.17

(処理・処分状況を考慮したオーバーオールな排出負荷原単位である。)

表 4-12 工場排水の排出負荷原単位 (kg/日/億円/年)

		COD	N	P		
18, 19	食 料 品	2.0	0.77	0.13	( ) 西脇市 多可郡	
20	織 維	2.5 (5.6)	0.35	0.1 (0.28)		
21	衣服その他	0.2	0.05	0.01		
22	木材・木製品	0.2	0.05	0.01	( ) 山南町	
23	家具・装備品	0.2	0.05	0.02		
24	紙パルプ・紙加工	5 (20)	0.5	0.1		
25	出版・印刷	0.1	0.04	0.005	竜野市 太子町	
26	化学	3	1.6	0.12		
28	ゴム製品	0.4	0.1	0.01		
29	皮革	10	3.7	0.05		
		32.4	12.2	0.2		
		24.8	9.53	0.021		
30	窯業・土石	0.2	0.04	0.004		
31	鉄鋼業	0.1	0.025	0.002		
32	非鉄金属	0.5	0.2	0.01		
33	金属	0.1	0.035	0.026		
34	一般機械器具					
35	電気機械器具					
36	輸送機械器具					
37	精密機械器具	0.3	0.03	0.003		
39	その他					

N, Pともほぼ同様の变化を示している。揖保川の冬季のNが比較的大きいのは皮革工業の負荷変動によるものと考えられる。

巻末資料9に3河川の月別流達負荷, 流量および加重平均濃度の一覧表を示している。

表Ⅱ4-17は各河川の流達負荷の年平均値をまとめたものである。厚東川については他の2河川と同期間の1年間と, 昭和54年7月から翌6月までの1年間, 昭和55年7月から翌6月までの1年間についても集計した年平均値を示している。

揖保川ではN, 6.2 t/日, P 0.35 t/日, 加古川では, N 6.7 t/日, P 0.73 t/日, 厚東川では, N 1.1 t/日, P 0.077 t/日という結果が得られた。厚東川の場合は, 流量の差, いわゆる降雨量の差によって, 3集計値にかなりの差がみられる。

② 排出負荷 負荷源ごとのCOD, N, P排出負荷の全流域に係る集計値を表Ⅱ4-15に示した。厚東川では農業排水, 自然性負荷が大部分を占め, 家庭下水, 工場排水の寄与率は, COD 14%, N 8%, P 30%である。加古川では各負荷源が比較的均等した寄与を示し, 家庭下水および工場排水の割合はCOD 59%, N 44%, P 76%である。揖保川では工場排水の寄与が大きく, COD 68%, N 67%, P 36%を占め, 家庭下水と合わせると, COD 79%, N 79%, P 78%の寄与率となる。

③ 総括流達率 流域全体の自然性負荷を含む排出負荷合計に対する, 流達負荷実測値の割合を総括流達率として, 表Ⅱ4-14と表Ⅱ4-15両表から計算した結果は表Ⅱ4-16に示すとおりである。揖保川ではN 0.80, P 0.85, 加古川ではN 0.72, P 0.69 厚東川ではN 1.12, P 1.35と, 昭和54年9月から翌8月までの1年間では通達率が1を越えた値となっている。とくにCODでは1.84とこの傾向は顕著である。

この原因としては,

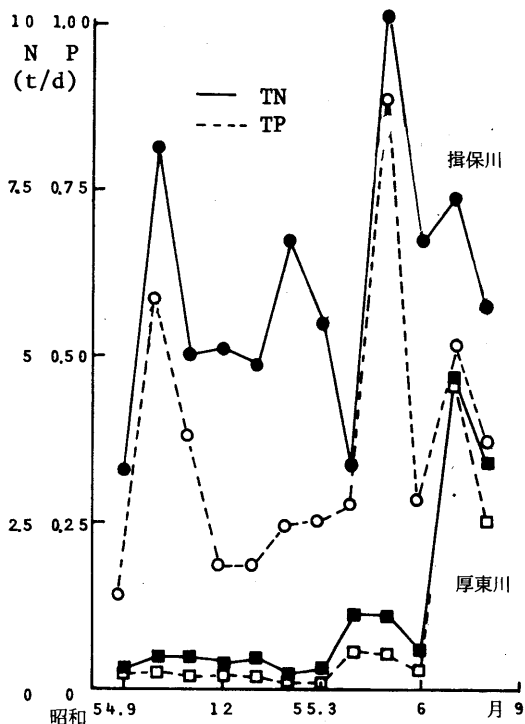
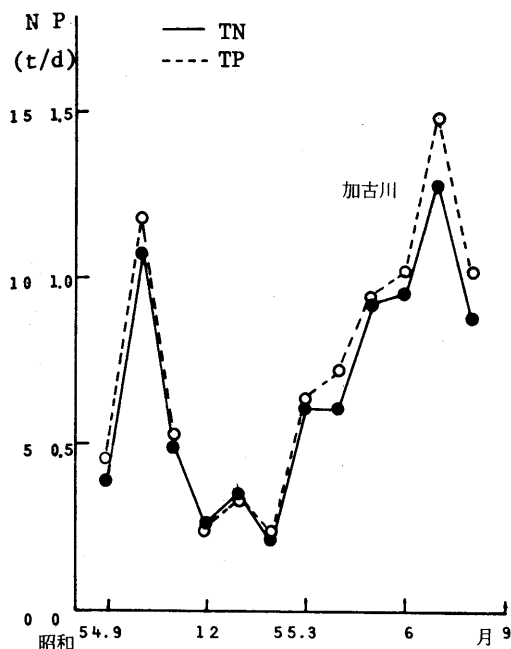
i) 取水点がダム湖尻であり, 他河川に比べて負荷の貯留が多く, それが次の年にも持ちこされる可能性があること, COD内部生産があることなどの特殊性がある。

ii) 厚東川の場合は負荷源のほとんどが自然性および農業排水により占められており, これらの原単位の設定がやや過小評価であった可能性もある。

iii) 本川の場合は降雨時流出の影響が大きく, 昭和55年7, 8月の雨量が例年より大きかったことなどの点が考えられる。

#### ④ 排出負荷の流域内分布を考慮した流達率

大河川については全流域を一括して扱ってしまうことには問題があるため, 先に述べたように, 流達率を流出率と流下率に分け, 単位流域区分ごと, 排出負荷源の種類別に, まず, 排出負荷に流出率を乗じて流出負荷を計算し, さらに流出負荷に流下率を乗じて流下負荷を算出し, これらを関係流域全体, 負荷源の種類全体について集計して, 当該水質調



図Ⅱ 4-8 a, b 三河川のN, P 流達負荷月別変化

表Ⅱ 4-13 自然性汚濁負荷原単位

	COD	N	P
流域面積haあたり	15	3	0.2
	(kg/ha/年)		

表Ⅱ 4- 14 流達負荷量年平均値 (昭和54年9月～昭和55年8月)

	COD	TN	TP
揖保川	15.8	6.18	0.352
加古川	22.1	6.67	0.733
厚東川	4.28	1.08	0.077
※	2.57	0.63	0.031
※※	5.95	1.49	0.104

※昭和54年7月～翌6月, ※※昭和55年7月～翌6月

表Ⅱ 4- 16 総括流達率

	COD	TN	TP
揖保川	0.76	0.80	0.85
加古川	0.88	0.72	0.69
厚東川	1.84	1.12	1.35
※	1.10	0.65	0.54
※※	2.56	1.55	1.82

※, ※※: 表Ⅱ 4- 14に同じ

表Ⅱ 4-15 負荷源別排出負荷集計値

		家庭下水	工場排水	家畜排水	肥料流出	自然性負荷	計
厚東川	COD	292.1 (13)	22.2 (1)	465.9 (20)		1550.6 (66)	2330.8
	N	66.2 (7)	8.7 (1)	262.4 (27)	312.9 (33)	309.5 (32)	959.7
	P	15.69 (28)	0.89 (2)	6.95 (12)	12.65 (22)	20.64 (36)	56.72
加古川	COD	7.18 (29)	7.72 (30)	3.46 (14)		6.73 (27)	25.09
	N	3.02 (32)	1.11 (12)	1.91 (21)	1.80 (20)	1.35 (15)	9.19
	P	0.478 (45)	0.327 (31)	0.085 (8)	0.084 (8)	0.090 (8)	1.064
揖保川	COD	2.36 (11)	14.20 (68)	0.94 (5)		3.27 (16)	20.77
	N	0.97 (12)	5.23 (67)	0.43 (6)	0.49 (7)	0.65 (8)	7.77
	P	0.150 (36)	0.178 (42)	0.019 (5)	0.023 (6)	0.043 (11)	0.413

(単位: 厚東川 kg/日, 揖保川, 加古川 t/日, ( ) 内は%)

査点の流達負荷を求める方法を検討した。

すなわち

$$L = Lb + \sum_i \sum_j C_{II} \text{ } i, j (C_{I} \text{ } i, j \cdot B_{i,j}) \dots\dots(6)$$

$L$  : 当該調査点の流達負荷 (t/日),  $B_{i,j}$  :  $i$  流域ブロックの排出負荷源  $j$  の排出負荷,  $Lb$  : 当該調査点に係る流域の自然性負荷 (t/日)

$C_{I} \text{ } i, j$  :  $i$  流域ブロックの, 排出負荷源  $j$  に対する流出率

$C_{II} \text{ } i, j$  :  $i$  流域ブロックの, 排出負荷源  $j$  からの流出負荷に対する当該調査点までの流下率

流域ブロックは排出負荷の原単位計算の便宜を考慮して, 原則として市町村単位, 必要に応じて区部あるいはそれ以下とし, 流出率  $C_I$  については先述の塩田川における調査等の経験から, 表Ⅱ 4-17 上段に示すような, 0.7~1.0 の値を用いる。

$Lb$  は自然性負荷について, 流達率=1.0 とする考え方で, 自然性負荷として計算された排出負荷をそのまま下流調査点まで流達させるものである。

流下率  $C_{II}$  については, 流下距離等の関数として考え, 浄化作用を表わす式として, 一般的に用いられている, 濃度  $C$  に関する一次反応式

$$-\frac{dC}{dt} = kC, \quad \frac{C}{C_0} = e^{-kt} \dots\dots(7), (8) \text{より}$$

上流の一点に流出した負荷が, 下流まで一定の流量を保存しながら流下すると考えれば (8) 式の左辺の濃度比は負荷量の比つまり流下率  $C_{II}$  に置きかえることができ, さらに, 流下時間  $t$  を流下速度  $V$  : 一定として, 流下距離  $x$  に置きかえて整理すれば, 結局

$$C_{II} = \frac{L}{L_0} = 10^{-kx(\log e)/V} = 10^{-kx} \dots\dots(9)$$

となる。たとえば上式で,  $k = 0.1$  (1/日),  $V = 30$  (km/日) を入れると,  $k$  の値は 0.009 (1/km) となる。

このような関係によって, 概略的に流下率の表現は可能であると考えられるが, 3 河川の流達負荷実測値を共通的によく説明しうる  $k$  の値を試行錯誤により求めたところ, 表Ⅱ 4-17 下段に示すように  $k = 0.00485$  (1/km) を得た。

本来これらの係数は降雨量, 河川形状の特性等によって当然変ってくるものであり, また  $N$ ,  $P$ ,  $COD$  それぞれについても異った値を示すものと考えられるが, 現在の段階では, 検討に値する通年調査データの蓄積が不十分であるため, ここでは考え方を示すにとどめる。

表Ⅱ4-17 流出率, 流下率の設定

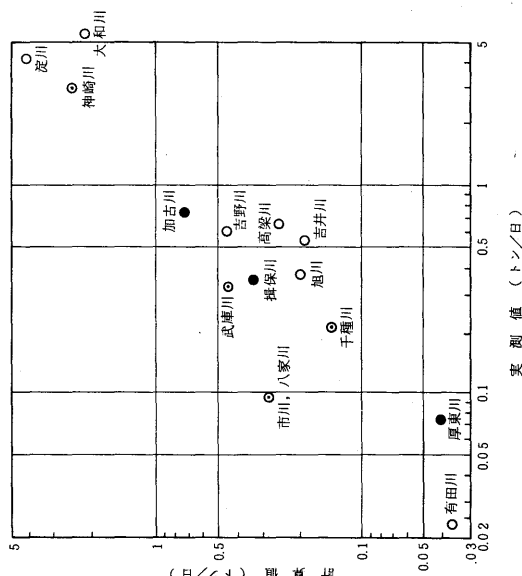
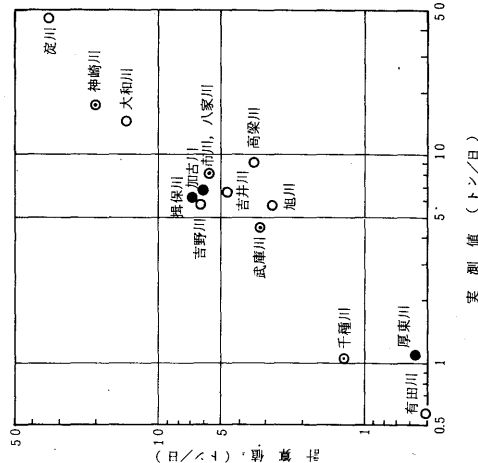
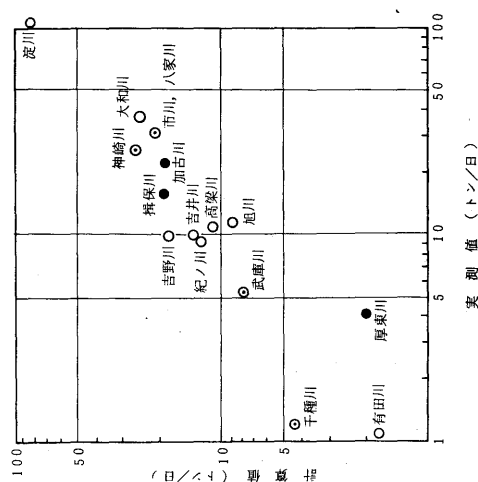
流出率	COD, N, P 共通 工業排水および自然性 負荷	1.0
	家畜および肥料流出	0.7
	家庭下水(市町村の状 況を考慮して)	0.7 ~1.0
流下率	COD, N, P 共通 $y = 10^{-0.00485x}$ $y$ : 流下率 $x$ : 流下距離 (km) 但し自然性負荷に ついては $y = 1.0$	

表Ⅱ4-18 流達負荷実測値と計算値の比較 (T/日)

	COD	TN	TP
	計算値/実測値	計算値/実測値	計算値/実測値
揖保川	18.9	5.81	0.335
加古川	18.8	6.03	0.730
厚東川※	1.98	0.67	0.041
※※※	1.30	0.94	0.75
※※※※	3.00	2.22	2.53

※昭54.9~昭55.8 (2,476mm) , ※昭54.7~昭55.6 (1,557mm) ※※昭55.7~昭56.6 (2,769mm)

○ 各府県の水質実測値に年平均雨量(流量年表)を乗じたものを実測値としたもの  
● 各府県の測定水質に測定時流量を乗じたものを実測値としたもの  
● 本調査の実測値によるもの



図Ⅱ4-9 a COD流達負荷計算値と実測値の比較 図Ⅱ4-9 b T-N流達負荷計算値と実測値の比較 図Ⅱ4-9 c T-P流達負荷計算値と実測値の比較

表Ⅱ4-17の流達率を用いて計算した流達負荷と実測値との比較は表Ⅱ4-18に示すごとくであるが、計算値と実測値は厚東川を除いてよく一致したものとなっている。厚東川の場合は年降雨量の大小が、流達負荷の大小にそのまま影響するが、昭和54年7月から翌年6月までの平年なみの年雨量の期間についてみれば、実測値と計算値との差はさほど大きくない。

昭和52年の瀬戸内海東部における流入負荷を知る目的で、上記3河川と同様の精度で流域ブロックごとに排出負荷を著者が計算した結果があるので、その結果を用いて瀬戸内海東部の主な河川について、流達負荷の計算値と実測値の対応をみしてみる。流達負荷の実測値は、各府県の水質監視データと流量年表の年平均流量等より算出した。

その結果は図Ⅱ4-9 a, b, cに示すとおりである。計算値と実測値は、COD, N, Pとも比較的よい対応をしていることがわかる。したがってこのような方法が大河川流域についての流達負荷の推定に一般的に利用しうるといえよう。

#### ⑤ 流量と水質の関係

3河川の流量と水質の関係を図Ⅱ4-10, 11, 12に示した。データ数は厚東川675日分、揖保川422日分、加古川401日分である。

厚東川については、COD, Nでは濃度に流量にほとんど関係なく、水質変動は他の要因、たとえばCODの場合はダム湖におけるプランクトンの消長等に関係していると考えられる。Pについては流量が大きくなるにつれて、濃度も高くなる傾向がみられる。流量増にともなうダム湖の滞留時間が減少することにも関係しているのではないかと考えられる。

揖保川においてはCOD, N, Pとも下に凸の弓型の分布を示し、とくに低流量から中流量にかけての水質の低下傾向が他の2河川に比較してはっきりしている。これは本川の採水点の1~2km上流に存在する皮革工場群の排水によって平水時、比較的高濃度の水質を呈しているものが、増水時に雨水による希釈を受けるためと考えられる。

加古川においても、やや同様の傾向がみられるが、流量の変動に対して水質は他の2河川に比してもっとも安定している。

豪雨時に水質が再び悪化する傾向が3河川ともに認められることは注目すべきことである。おそらく、豪雨時には平静は負荷源になりえないようなものが、負荷源となって水質を上昇させるものと推定される。

#### ⑥ 流量と負荷量の関係 流量と負荷量の関係について、もっとも一般的な指数式

$$L = kQ^n \quad L: \text{負荷量 (t/日)}, \quad Q: (10^4 m^3/\text{日}) \quad \cdots \cdots (10)$$

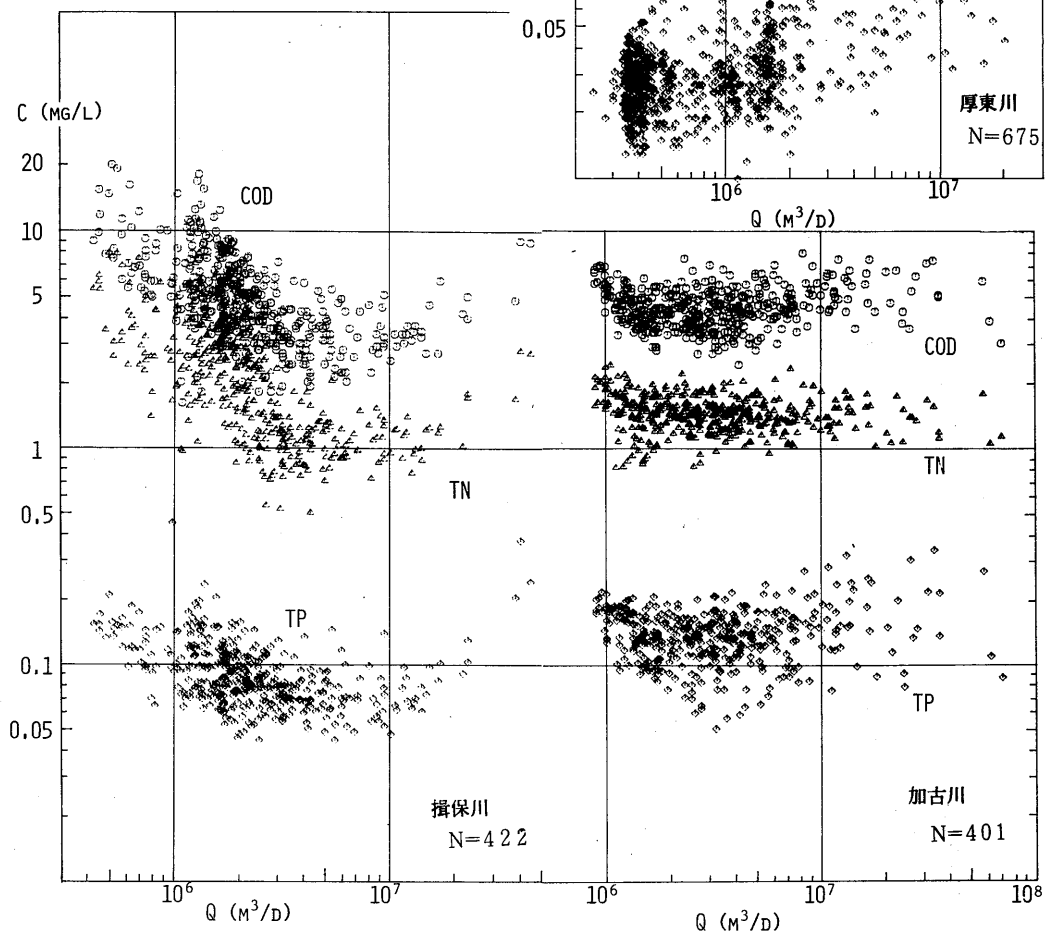
をあてはめ、最小自乗法により、k, nを決定し、Lと $Q^n$ の間の相関係数を求めた結果



表Ⅱ4-19 河川の流量と負荷量の関係

		COD	solCOD	TN	solTN	TP	solTP
厚東川 N=675	r	0.97	0.97	0.93	0.98	0.93	0.96
	n	1.08	1.07	1.07	1.09	1.24	1.22
	k	18.0 $\times 10^{-3}$	14.5 $\times 10^{-3}$	4.52 $\times 10^{-3}$	3.81 $\times 10^{-3}$	1.01 $\times 10^{-4}$	0.57 $\times 10^{-4}$
揖保川 N=422	r	0.80	0.85	0.71	0.77	0.81	0.93
	n	0.680	0.683	0.504	0.525	0.851	1.010
	k	0.273	0.185	0.302	0.228	2.01 $\times 10^{-3}$	0.60 $\times 10^{-3}$
加古川 N=401	r	0.95	0.97	0.97	0.97	0.88	0.90
	n	1.029	0.992	0.959	0.925	1.019	0.936
	k	37.2 $\times 10^{-3}$	32.4 $\times 10^{-3}$	18.0 $\times 10^{-3}$	19.3 $\times 10^{-3}$	1.21 $\times 10^{-3}$	1.63 $\times 10^{-3}$

$r: L \sim Q^n$  の相関係数     $n, k: L = kQ^n$  の係数     $L$  (t/日)     $Q$  ( $10^4 m^3$ /日)

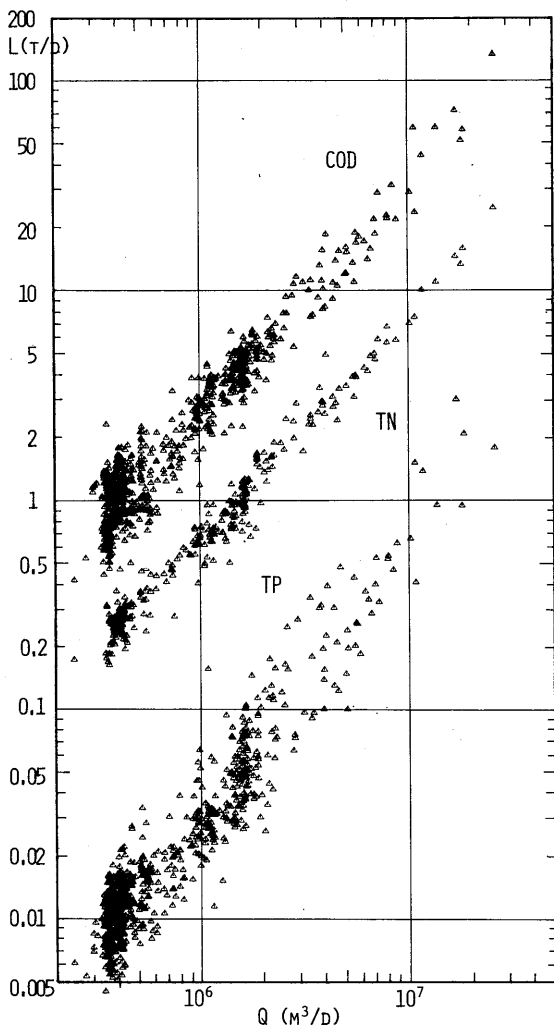


図Ⅱ4-10～12 三河川の流量と水質の関係

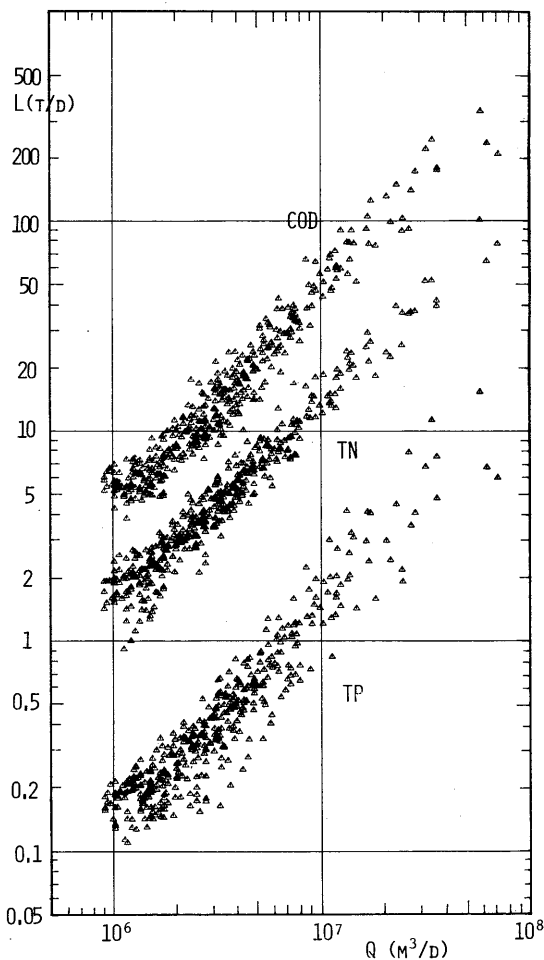
を表Ⅱ 4-19にまとめた。また図Ⅱ-13 a, bには加古川, 厚東川について,  $Q \sim L$  の関係を両対数紙に散布したグラフを示している。

先の図Ⅱ 4-10~11と対応して, 流量が変動しても濃度が比較的一定している場合には  $Q$  と  $L$  の関係は比例的で (12) 式の  $n$  は 1.0 に近く, 相関係数  $r$  も 1 に近い。

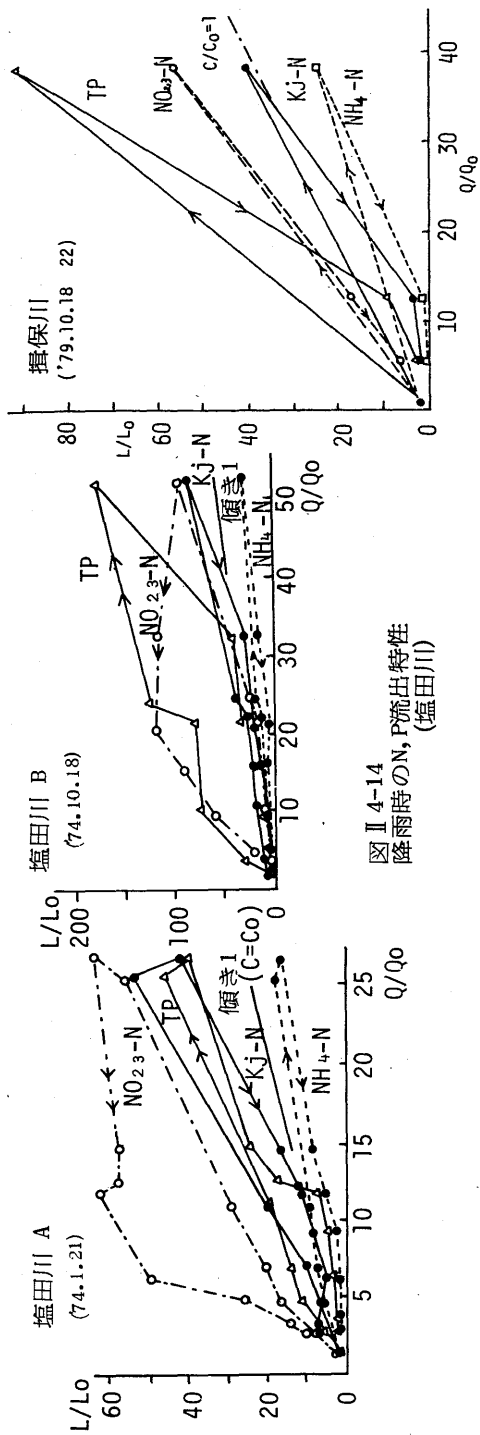
全般的にみて, 揖保川の COD と  $N$  は皮革工業排水の影響を大きく受けてやや相関が低くなっている以外, 概ね  $L \sim Q^n$  の相関は高い。揖保川についても, 皮革工業排水中にあまり高濃度に含まれない溶解性 TP では相関は高くなっている。厚東川の COD,  $N$ , 加古川の COD,  $N$ ,  $P$  は相関も高く,  $n$  も 1.0 に近く, 負荷量がほとんど流量のみによって決定されることを示している。そして比例定数に相当する濃度は流域の人為活動の違い



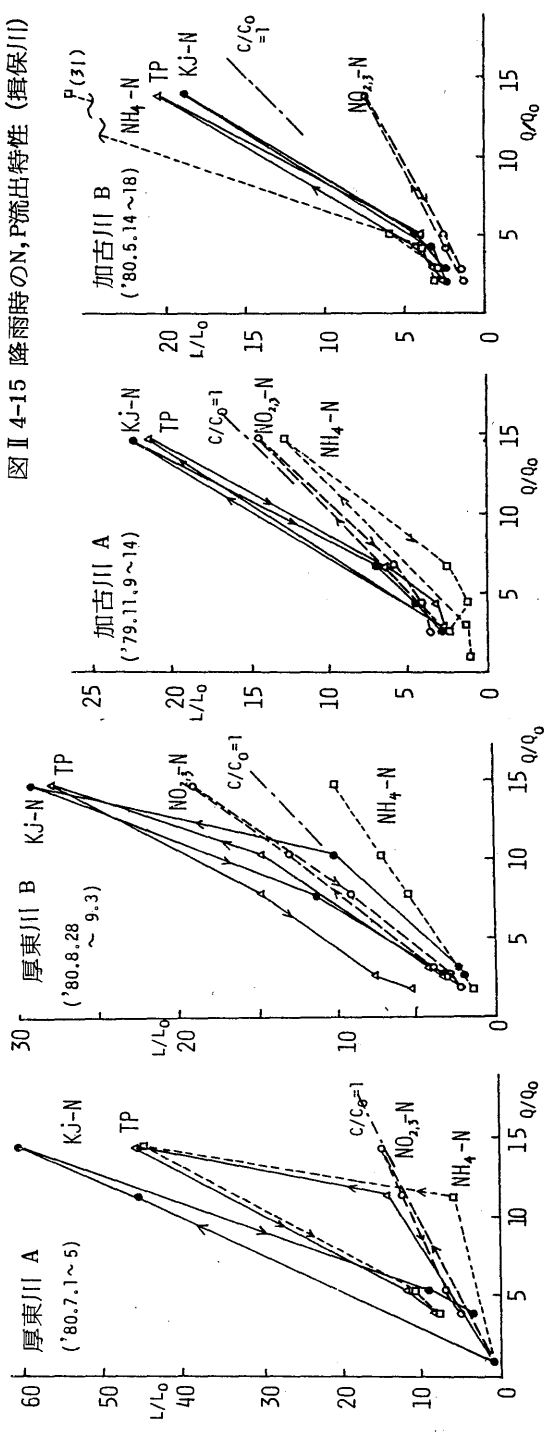
図Ⅱ 4-13 a 厚東川の流量と負荷量との関係 ( $N=675$ )



図Ⅱ 4-13 b 加古川の流量と負荷量との関係 ( $N=401$ )



図Ⅱ 4-14 降雨時のN, P流出特性 (塩田川)



図Ⅱ 4-16a, b 降雨時のN, P流出特性 (厚東川)

図Ⅱ 4-17a, b 降雨時のN, P流出特性 (加古川)

等により、河川ごとに異った値をもつ。流量の如何にかかわらず、この濃度が比較的、安定的に維持される現象は自然のもつ緩衝作用によるものと考えられるが、非常に注目すべきことである。したがって大河川については、特殊な場合を除いて、年12回程度の水質濃度平均値に年平均流量を乗じて年平均流達負荷量を求める方法も第一次近似としては有効であるといえる。

#### ⑦ 降雨期間中の流量変化と負荷量変化

河川間あるいは水質項目間の比較を容易にするために、採水時ごとの降雨時負荷  $l$  ( $g/sec$ ) と同時刻の晴天時負荷  $l_0$  ( $g/sec$ ) の比  $l/l_0$  と同じく降雨時流量  $q$  ( $m^3/sec$ ) と晴天時流量  $q_0$  ( $m^3/sec$ ) との比  $q/q_0$  とを対比させて、降雨期間中の流量と負荷量の時間的変化の状況を考察した。

図Ⅱ 4-14 は塩田川について、代表的な1月21日と10月18日の降雨につき、それぞれ、2月12日と10月15日を晴天時にとって、 $q/q_0$ ,  $l/l_0$  の関係を示したものである。傾きが1の直線より上にある点では降雨時の濃度が晴天時よりも増大していることを示し、下にある点では逆に減少していることを示す。塩田川の場合、 $Kj-N$ ,  $TP$ ,  $NO_{2,3}-N$  は降雨時の方が濃度が増加し、 $NH_4-N$  のみ低下している。時間経過を追うと  $NO_{2,3}-N$  のみ左まわりで、降雨初期よりもむしろ後期に高くなる。他は概ね右まわりで降雨初期にとくに濃度が高くなっている。

$NO_{2,3}-N$  の増加の原因については種々考えられるが、土壌の浅層に一旦浸透した雨水が土壌中にゆるく保持されていた  $NO_{2,3}-N$  を連行して再び地表水に出てくると考えるのがもっとも妥当であろう。またその大部分は肥料の溶脱に由来するものと考えられる。

同様に、図Ⅱ 4-15、図Ⅱ 4-16、図Ⅱ 4-17 には揖保川、厚東川、加古川の代表的な降雨流出期間における同様の関係をみたものである。

揖保川は塩田川と比較すると流域規模は大きいが、採水点の直上流部がかなり強い汚濁を受け、 $N$ ,  $P$  の降雨時流出の状況は塩田川の場合と似たものとなっている。

厚東川の a 図においては、塩田川と比較すると、 $TP$ ,  $NH_4-N$  が左まわりに変動すること、 $NO_{2,3}-N$  はほとんど降雨流出期間中、濃度を变化させない点で違いがある。 $TP$  と  $NH_4-N$  の挙動が類似しているのは、水田田面水の肥料成分が降雨後期に溢流することに帰因するのではないかと考えられ、とくに  $NH_4-N$  の流出が顕著なのは水田への施肥時期との関係があるろう。

同様に b 図については、かなり塩田川の流出特性に近くなっているが、 $TP$  および  $Kj-N$  がやはり左まわりに変動している点が異なる。これは厚東川のダム湖での沈殿等による  $N$ ,  $P$  除去率が降雨後期に相対的に低下することに帰因するのではないかと考えられる。

一方、加古川においては、全体にループ性がみられず、降雨流出の前期でも後期でも流量が同じであれば水質は変わらない傾向がある。Kj-N, TPについてはどの降雨でも同様の流出変動を示すが、NH<sub>4</sub>-NとNO<sub>2,3</sub>-Nの変動は、降雨ごとに一定せず、b図において、NH<sub>4</sub>-Nの流出が顕著である原因についても不明である。加古川は流域面積が1,730 km<sup>2</sup>と広いため、降雨域の偏り、流下過程での変化などのために、汚濁物の流出特性が把握しにくい。

なお後の3河川とも、塩田川でみられたような、NO<sub>2,3</sub>-Nの左まわりの流出変動はみられず、降雨流出の全期にわたって濃度がほとんど変化しない特性を示している。大河川の場合は流下過程での平滑化その他の変化を考慮しなければならず、降雨時の汚濁負荷流出の解析にはまず小流域についてのデータが蓄積される必要がある。

#### ⑧ 河川増水時の流量比と負荷量比の関係

3河川のデータから、低水流量以下の調査日の平均流量 $Q_f$ 、同じく平均負荷量 $L_f$ と豊水量以上の調査日の個々の流量 $Q$ および負荷量 $L$ の比、 $Q/Q_f \sim L/L_f$ の関係について、相関性と指数式の係数を求めた結果を表Ⅱ 4-20にまとめた。

i) まずべき数 $m$ は3河川、すべての項目で1以上の値を示し、豊水量以上の流量の増大につれて、水質も若干ずつながら増加する傾向がある。溶解性部分とSS性部分に分けると、相対的にはSS性部分に対する $m$ の方が高い傾向にある。

ii) 係数 $a$ が小さいということは $L_o$ が人為的な要因のため高く設定されていることを意味する。いかえれば、平水時かなり人為的汚濁の大きい河川であることを示している。

このような河川でも、大降雨時には、人為的な影響が小さくなり、表に示したように、より相関性のある回帰式が得られる。

表Ⅱ 4-20 河川増水時と低水時の流量比と負荷量比の関係

	COD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2,3</sub> -N	Kj-N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP	sol-COD	sol-TN	sol-TP	ss-COD	ss-TN	ss-TP
揖保川 r	0.93	0.77	0.90	0.88	0.92	0.94	0.94	0.92	0.92	0.95	0.84	0.72	0.82
m	1.17	1.00	1.09	1.17	1.13	1.17	1.24	1.07	1.08	1.12	1.41	1.32	1.55
a	0.32	0.14	0.80	0.12	0.25	0.58	0.38	0.40	0.29	0.70	0.17	0.10	0.09
加古川 r	0.95	0.84	0.94	0.90	0.96	0.94	0.90	0.94	0.95	0.90	0.82	0.80	0.76
m	1.06	1.20	0.92	1.09	0.98	1.01	1.12	1.05	0.93	1.02	1.06	1.20	1.44
a	0.81	0.49	0.96	0.68	0.87	0.78	0.68	0.76	0.91	0.71	0.91	0.71	0.61
厚東川 r	0.96	0.75	0.89	0.90	0.95	0.82	0.91	0.96	0.95	0.90	0.80	0.66	0.80
m	1.11	0.94	1.17	1.07	1.13	1.52	1.38	1.08	1.11	1.41	1.19	1.06	1.31
a	0.84	0.66	0.83	0.79	0.85	0.60	0.72	0.85	0.91	0.68	0.81	0.54	0.73

r:  $\log(L/L_o)$ と $\log(Q/Q_o)$ の相関係数

m, a:  $(L/L_o) = ax(Q/Q_o)^m$ の係数

#### 4・6 小河川における晴天時流出率調査

##### (1) 調査目的

本調査の目的は、晴天時の汚濁負荷流達率の関数化を検討することである。

##### (2) 調査方法

① 流出負荷の実測 汚濁程度の異なる10河川(表Ⅱ4-21)について、昭和56年12月から翌2月にかけて、各1回の通日調査を行い、1～2時間ごとに流量測定とCOD、BOD、N、Pの分析を行った。日流量Q、日負荷量Lを台形公式にて求め、流出負荷 $L_*$ は以式で求めた。 $L_* = L - C_b (Q - Q_s) \dots\dots(11)$

ただし $C_b$ :バックグラウンド水質、 $Q_s$ =下水量計算値である。

② 排出負荷の計算 排出負荷 $L_o$ は冬季、晴天時ということで、家庭下水を主体とし、各流域ごとに、常住人口、従業者数、浄化槽設置状況、下水道利用人口等、発生源基数の資料を整え、表Ⅱ4-22に設定した原単位を乗じて算出した。今回選んだ河川はいずれも家庭下水および業務下水が主体を占めるが、状況に応じて、食品工業、駅乗降客、旅館宿泊者による負荷等を別に推定した。農業排水は計算対象としなかった。

③ 汚濁負荷流出率 汚濁負荷流出率 $f$ は次式で求める。

$f = L_* / L_o \dots\dots(12)$  ここで前節の流下率と同様の考え方で、汚濁物質の減少が濃度の一次反応に従うものとし、流出時間を流程におきかえ、排出負荷密度 $D$ を河川の整備状況、汚濁状況の指標として次式を考える。

$$f = 10^{-k\sqrt{B}} \cdot (D/D_m)^n \dots\dots(13) \quad \text{ここで、} B: \text{各河川の山林原}$$

野等を除いた流域面積( $\text{km}^2$ )、 $k$ :減少係数( $1/\sqrt{\text{km}}$ )、 $D_m$ : $D$ を無次元化するための排出負荷密度標準値。

##### (3) 調査結果

① 流出負荷 水質調査結果の一部を表Ⅱ4-23に示す。日流量は表Ⅱ4-21の実測流量の項に示している。流出負荷 $L_*$ は表Ⅱ4-25の各 $L_*$ の項に示している。

② 排出負荷 排出負荷も同様に表Ⅱ4-25の各 $L_o$ の項に示す。表Ⅱ4-24には各河川における各負荷源の寄与率を求めた。

BODでは家庭雑排水が75%、業務雑排水を合わせると90%を占めるが、一方Nでは、浄化槽し尿が、家庭用、業務用を合わせて49%を占める。河川によっては業務用浄化槽のみで40%を越えるところがあり、注目される。

③ 汚濁負荷流出率 流出率 $f$ は平均してCOD 0.65、BOD 0.46、N 0.88 P 0.64であり、Nは高めで農業地帯の河川で1を越える。

#### (4) 調査結果の考察

① 流出率と排出負荷密度の関係 図Ⅱ 4-18 は  $\log D$  と  $\log f$  の関係をみたものである。概ね、 $D$  が大きくなると  $f$  が大きくなる傾向があり、その傾きは 0.3 ～ 0.6 程度である。

② 流出率と流程の関係 流下率と流下距離の間には指数関数のあてはめが可能であったが、流出率においても、同様な関係が期待される。図Ⅱ 4-19 は係数  $n$  を、 $P$  と  $BOD$  については 0.5,  $COD$  0.4,  $N$  0.3 と仮定して、 $\sqrt{B}$  と  $\log(f/D^n)$  の間の関係をみたものであるが、概ね先の (15) 式が成り立つものと考えてよいであろう。

$BOD$  に関する  $k$  は 0.15 ( $1/km$ )、 $Dm$  は  $1 kg/ha/日$ 、 $TP$  については  $k = 0.2$ ,  $Dm = 0.016$  であり浄化が大きいが、一方、 $N$  については  $k \approx 0$  で、ほとんど浄化が期待できない。

表Ⅱ 4-21 調査対象河川の流域諸元

河 川	特 徴	流域面積		常 住 人 口 (人)	業 務 人 口 (人)	人 口 密 度 (人/ha)	下 水 量 ( $10^3 m^3$ /日)	実 測 流 量 ( $10^3 m^3$ /日)	比 流 量 ( $m^3/ha$ /日)
		A(ha)	B(ha)						
1 中川・梅田川	宅地化の著しい近郊農地, 感潮河川	1,530	830	26,820	9,570	32	9.0	43.9	29
2 塩田川	近郊住宅地, 下水道進行中	508	460	23,720	4,390	52	1.6	10.4	20
3 江頭川	丘陵住宅団地, 雑排水処理場あり	150	90	4,370	615	49	1.0	3.4	23
4 沢波川	中流に農地転用の住宅団地	530	100	2,540	930	25	0.9	7.3	14
5 五反田川	農業地帯, 三面張, 下流河川工事, 感潮河川	320	120	2,390	360	20	0.6	4.7	15
6 植松川	農業地帯, 三面張, 大規模養鶏場, 感潮河川	610	300	3,020	460	10	0.7	12.6	21
7 小郡排水路	小郡町大部分, 三面張, 中級処理下水処理場	730	410	13,500	9,500	33	6.7	16.3	22
8 錦 川	山口市官庁街, 湯田温泉, 二面張	1,050	590	17,660	15,000	30	9.3	38.6	37
9 一の坂川	山口市中心部の一部, 二面張, 都市下水路の下	1,090	250	14,160	10,300	57	6.9	22.3	20
10 吉敷川	自然農地, 自然河川	1,800	200	1,530	300	7.7	0.4	9.7	5.4

A: 全流域面積 B: 山林・原野等を除く流域面積

表Ⅱ 4-22 家庭下水等排出負荷原単位 設定値

	発生負荷原単位 ( $g/人/日$ )					排出率					排出負荷原単位 ( $g/人/日$ )			
	COD	BOD	N	P		COD	BOD	N	P		COD	BOD	N	P
家庭し尿	15	18	10.2	1.14	くみとり・ し尿処理 単独浄化槽	0.18	0.09	0.59	0.60	28	2.2	1.3	4.3	0.52
					合併浄化槽	0.60	0.30	0.85	0.85	30	7.2	4.3	6.2	0.74
					自家処分	0.30	0.10	0.60	0.70	30	3.6	2.2	4.4	0.61
					下水道 (小郡)	0.018	0.018	0.18	0.02	-	0.2	0.3	1.3	0.02
						0.25	0.10	0.65	0.60	30	3.0	1.4	4.8	0.52
家庭雑排水	16	32	2.0	0.52	くみとり・ し尿処理 単独浄化槽	0.63	0.26	0.80	0.92	30	7.6	3.7	5.9	0.80
					合併浄化槽	1.0	1.0	1.0	1.0	170	12	24	1.5	0.52
					自家処分	0.30	0.10	0.60	0.70	170	3.6	2.4	0.9	0.36
					下水道 (小郡)	0.25	0.10	0.65	0.60	170	3.0	2.4	1.0	0.31
						0.63	0.26	0.80	0.92	170	7.6	6.2	1.2	0.48
業務し尿	15	18	10.2	1.14	くみとり・ し尿処理 単独浄化槽	0.18	0.09	0.585	0.60	58	1.1	0.75	3.5	0.34
					合併浄化槽	0.60	0.30	0.85	0.85	70	3.8	2.3	5.1	0.48
					自家処分	0.30	0.10	0.60	0.70	70	1.9	0.75	3.6	0.39
					下水道 (小郡)	0.018	0.018	0.18	0.02	70	0.11	0.14	1.1	0.01
						0.25	0.10	0.65	0.60	70	1.6	0.75	3.9	0.34
業務雑排水	16	32	2.0	0.10	くみとり・ し尿処理 単独浄化槽	0.63	0.26	0.80	0.92	70	3.9	1.95	4.8	0.52
					合併浄化槽	1.0	1.0	1.0	1.0	330	8.3	16.7	1.04	0.21
					自家処分	0.30	0.10	0.60	0.70	330	2.5	1.7	0.62	0.15
					下水道 (小郡)	0.25	0.10	0.65	0.60	330	2.1	1.7	0.68	0.13
						0.63	0.26	0.80	0.92	330	5.3	4.3	0.83	0.19

表Ⅱ 4-24 排出負荷に占める各発生源の割合

河 川	BOD (%)					N (%)				
	家庭下水 浄化槽 し尿水	業務下水 浄化槽 し尿水	その他			家庭下水 浄化槽 し尿水	業務下水 浄化槽 し尿水	その他		
1 中川梅田川	2 71	1 17	9			19 38	22 9	12		
2 塩田川	3 88	- 3	6			39 52	5 2	2		
3 江頭川	2 90	- 8	-			16 76	2 6	-		
4 沢波川	6 72	1 7	14			39 21	8 2	30		
5 五反田川	6 79	2 13	-			49 29	18 4	-		
6 植松川	1 90	- 9	-			12 64	17 7	-		
7 小郡排水路	9 53	5 21	12			40* 14	30* 6	10		
8 錦 川	4 61	4 28	3			27 17	43 9	4		
9 一の坂川	2 58	3 30	7			19 21	42 11	7		
10 吉敷川	2 85	1 12	-			21 51	18 7	3		
平 均	4 75	2 15	5			28 38	21 6	7		

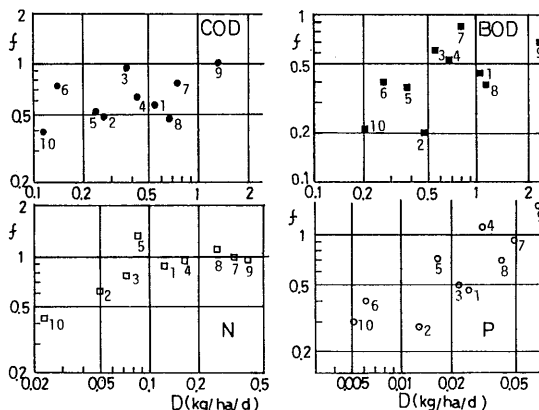
表Ⅱ 4-25 各河川の汚濁負荷流出率算定結果

\* 下水処理場を含む

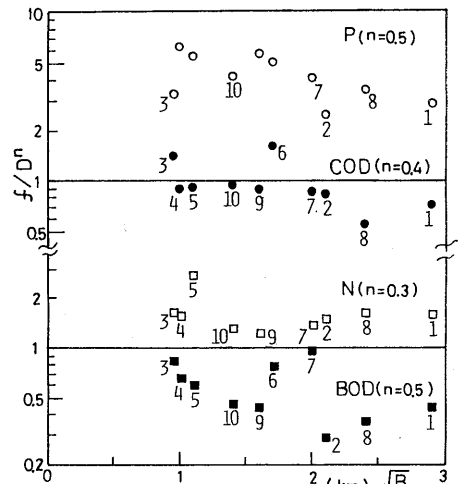
	COD			BOD			TN			TP		
	$L_0$	$L_*$	$f = \frac{L_*}{L_0}$	$L_0$	$L_*$	$f = \frac{L_*}{L_0}$	$L_0$	$L_*$	$f = \frac{L_*}{L_0}$	$L_0$	$L_*$	$f = \frac{L_*}{L_0}$
1 中川梅田川	460	260	0.57	860	380	0.45	104	90	0.87	22.4	10.6	0.47
2 塩田川	126	62	0.49	220	44	0.20	23	14	0.61	5.9	1.68	0.28
3 江頭川	31	29	0.94	50	31	0.62	6.7	5.1	0.76	2.11	1.06	0.50
4 沢波川	43	27	0.63	67	36	0.54	16.8	15.7	0.93	3.10	3.43	1.11
5 五反田川	29	15	0.52	46	17	0.37	10.3	13.5	1.31	2.01	1.42	0.71
6 植松川	42	31	0.74	81	32	0.40	7.0	21	3.00	1.87	0.74	0.40
7 小郡排水路	310	240	0.77	370	280	0.76	134	133	0.99	20.7	19.0	0.92
8 錦 川	410	190	0.47	660	250	0.38	154	168	1.09	24.3	17.0	0.70
9 一の坂川	330	330	1.00	590	400	0.67	100	94	0.94	17.1	25.5	1.49
10 吉敷川	23	9	0.39	42	9	0.21	4.5	1.9	0.42	1.04	0.31	0.30
$\bar{x} \pm \sigma_{n-1}$			0.65 $\pm 0.21$			0.46 $\pm 0.19$			0.88* $\pm 0.26$			0.64** $\pm 0.30$

$L_0$  : 排出負荷計算値  $L_*$  : 流出負荷実測値(補正值)  $f$  : 汚濁負荷流出率 \* NO.6を除く \*\* NO.9 1.49を 1.0として平均

$L_*$  = 実測負荷-バックグランド水質(実測流量-下水量)  
、但しバックグランドは吉敷川の最小濃度より、COD, BOD,  
N, P それぞれ 1.1, 0.9, 0.55, 0.04 mg/ℓ



図Ⅱ 4-18 排出負荷密度と汚濁負荷流出率の関係



図Ⅱ 4-19 流量と汚濁負荷流出率の関係

D: 排出負荷密度 B: 山林・原野等を除く流域面積



#### 4・7 流達率に関する研究成果の要約

本章では、富栄養水域へ流入する汚濁負荷量算定のための、計画パラメーターとしてのN、P流達率を明らかにする目的で、文献情報の検策や4河川の長期にわたる流達率調査を行った成果について報告したが、ここでその主要なものを要約する。

① 十分な水質調査により求められた流達負荷と著者の方法により求めた排出負荷を対応させた総括流達率は表Ⅱ 4-26 にまとめているようになり、全体として妥当な値が得られている。

またこのことより、排出負荷の計算方法の妥当性も検証されたことになるが、厚東川の2年目の値は年降雨量大のため、かなり過大となっており、自然性負荷の評価に検討の余地がある。

② 大河川の場合には、流達率を流出率と流下率に分け、流出率に排出点の状況により差を与えると

ともに、流下率を流下距離の指数関数として表わして、流達率を求める方法が合理的であり、また一般的に適用できる可能性のあることを明らかにした。

③ さらに大河川においては、流量と負荷量は広い範囲にわたって直線的な関係にあり、負荷量が流量によってほぼ決定されることが確認された。このことは流量にかかわらず、水質が安定しており、しかもその濃度は流域内の人為活動によって決まってくるということであり、興味ある現象である。これについても自然性負荷との関係において今後、検討すべき問題である。

④ 富栄養水域の水質管理の上から、降雨時負荷の重要性を指摘し、豪雨時には1週間で50日とか100日分の負荷が流出することもある。晴天時の負荷から降雨時を含めた年平均負荷を推定する場合、晴天時に乗すべきN、Pの負荷倍数は、河川の場合1.3～2程度、下水道の場合1.1程度であると考えられる。

⑤ 流達負荷に占める溶解性成分の割合や、無機態の割合などについての情報を整理し、溶解性成分の割合はNで85%前後、Pで65%前後であり、降雨時はとくにPにおいてSS性が高くなることを明らかにした。

⑥ 晴天時流出率について、平均流程と排出負荷密度の関数として基本的に表現しうることを示した。

本章で記述した河川の水質調査はすべて非常に多くの労力がかかったものであるが、今後ますますこのようなデータが蓄積され、流達率の体系だった理論化が進められることが期待される。

表Ⅱ 4-26 N、P、CODの総括流達率

	流域面積 (km <sup>2</sup> )	流達率 (%)		
		N	P	COD
塩田川	5.1	87	79	—
揖保川	809	80	85	76
加古川	1 639	72	69	88
厚東川	324	65	54	110
		155	182	256
琵琶湖流出水	3 120	44	41	28
山王川	12.5	66	77	70
園部川	7.8	86	87	57
恋瀬川	209	88	56	66

## Ⅱ - 5 大気経由のN, P 負荷について<sup>1), 2)</sup>

### 5・1 はじめに

これまでみてきたように、Nについては、種々の段階で排気損失が無視しえない。この大部分は $\text{N}_2$ の形で排出と思われるが、一部は $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ として水域の富栄養化に寄与している。Pについても肥料工場周辺など、大気経由の負荷が無視できない場合がある。

大気経由の負荷は場合によっては、排水負荷より広域に影響を及ぼし、森林や陸水の富栄養化にも関係してくるため、その定量評価は重要な課題である。

本章の研究目的は実測調査や文献調査によって、大気経由のN, P 負荷の相対的な位置づけを明らかにすることである。

### 5・2 研究方法

① 雨水水質の測定 山口大学工学部構内にて、漏斗で受けた雨を0.5 mmに1本ずつ分取した雨水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を昭和48年9月より昭和49年10月の約1年間、分析した。

② 降下物調査によるN, P排気負荷の推定 肥料工業地帯周辺に短時間に降った雪や雨の採集、分析を行って、工業地帯からのN, P排気負荷の推定を試みた。雪は積雪終了後、できるだけ数多くの地点から、屋根の上などの雪を採取した。雨水は降雨開始とともに、できるだけ数多くの地点に採集容器を設置し、降雨継続時間内に回収した。

③ デポジットゲージ法による大気経由のN, P負荷の測定 10 l容褐色ポリビンに1.5 cm径のポリロートをつけ、あらかじめ0.3 Nの希硫酸100 mlを入れたデポジットゲージを適当な建物の屋上に設置し、1ヶ月に1度収集して、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TPの分析を行った。

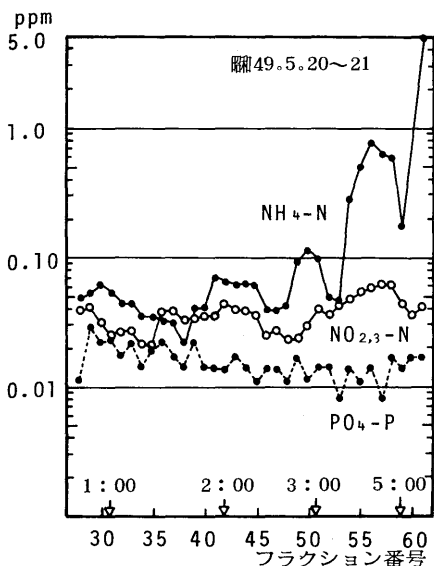
④ 文献を検策して、雨水のN, P濃度、大気経由のN, P負荷の報告値を整理し、これらの知見を総合して、瀬戸内海を例にして、排水負荷、排気負荷、大気経由の負荷等の相対的な関係を考察する。

### 5・3 研究結果および考察

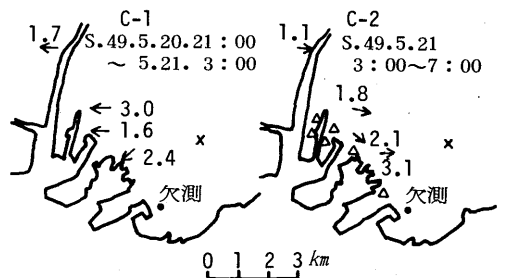
(1) 降雨フラクションのN, P濃度 図Ⅱ5-1に1例を示すごとく、1雨の中でもかなり大きな濃度変化を示す。初期フラクションの濃度は、大気中の浮遊粉じん、漏斗や導管の汚れを洗いおとすため、一般に高濃度である。

表Ⅱ5-1には1雨ごとの最小濃度、最大濃度、平均濃度の約70降雨分の単純平均値と、夏季の降雨よりバックグランド濃度とみてよい値をまとめている。

一雨ごとの平均濃度の総平均は、 $\text{NH}_4\text{-N}$  0.80 mg/l,  $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$  0.28 mg/l,



図Ⅱ 5-1a 風向と工場群の影響  
(途中から汚染を受ける場合)  
(1分画は0.5mmに対応する)



図Ⅱ 5-1b 調査時の風向と風速

表Ⅱ 5-1 降雨フラクシンの N, P 濃度  
平均値 (通年 n=70) (mg/ℓ)

	最小 ~ 最大	平均濃度	夏季非汚染濃度
NH <sub>4</sub> -N	0.20~3.2	0.80	0.046
NO <sub>2,3</sub> -N	0.10~1.2	0.28	0.035
PO <sub>4</sub> -P	0.036~0.46	0.108	0.011

表Ⅱ 5-2 雨水中の N, P 濃度報告例 (平均濃度) (mg/l)

	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Org-N	PO <sub>4</sub> -P	TP	調査時期	備考 (出典)
東京 千代田	0.52		0.02				昭和48.9~昭和49.8	古明地ほか: 東京都公害研究所年報 7 27~37 (1976)
大田	0.67		0.02					(漏斗常備, 導管短く, 無降雨時は防じんカバーを取りつける。)
板橋	0.75		0.01					
調布	0.65		0.02					
青梅	0.70		0.02					
東京 赤羽	1.08		1.90		0.030		昭和50.6~昭和50.8 n=9~14	大島ら: 土木学会第31回年次学術講演会 (Ⅱ) 583 (1976)
神奈川 平塚	0.52		2.18				昭和40.9~昭和42.8	神奈川県農試: 神奈川県大気汚染調査研究報告 (第10報) 91~ (1967)
東京 高円寺		0.01	0.49				昭和25	気象要覧
目黒	0.31	0.16	0.50				昭和48	文献3) より引用
西ヶ原	0.44		0.80				昭和49	
神奈川 横浜	0.84		0.76				昭和49.7~49.12	牧野ら: 環境研究 (11) 23~27 ('76)
	1.20	0.016	0.85				昭和50.7~50.12	同: 大気汚染研究 11 (2) 309 ('76)
関東 東京	0.95		0.95				昭和50.6.2~7.8	環境庁: 昭和50年度湿性大気汚染調査結果報告書 (1976)
川崎	0.90		1.60				昭和50.10.13~18	
市原	0.30		1.00				の平均値	
浦和	0.95		1.40					
多摩	0.55		0.36					
筑波山	0.30		0.30					
霞ヶ浦	0.17		0.61	0.72	0.013		昭和49.5~12 (10回)	田淵俊雄ら: 農業土木学会論文集 第66号 10~20 (1976)
	0.20		0.44	0.25	0.045			
愛知 東郷町	0.08		0.34	0.36	0.0570.087		昭和49.6~10 (n=23)	愛知県農業総合試験場: 昭和49年度土汚染機構解析調査成績書 ('75)
東海市	0.40		1.12		0.061		昭和50.6~9	愛知県農業総合試験場: 雨水の実態調査成績書 (1976)
知多	0.29		0.82		0.074		デボジットゲージ法	
岡崎	0.19		0.46		0.083			
瀬戸内海沿岸	0.27	0.016	0.40	0.36	0.0150.035		昭和50.10~51.2	環境庁: 栄養塩類収支挙動調査
大阪 泉南地方	0.19	0.036	0.88				昭和48.3~昭和49.3 6地点, 13回	長沢幹雄ら: 水処理技術 16 (2) 153 (1975)

$\text{PO}_4\text{-P}$  0.108  $\text{mg}/\ell$  となり、全ての分面試料の最低～最高濃度は  $\text{NH}_4\text{-N}$  0.01～19.2  $\text{mg}/\ell$ 、 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$  0.01～3.95  $\text{mg}/\ell$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{tr}$ ～2.39  $\text{mg}/\ell$  であった。

この調査では、晴天時も漏斗に覆いをしていないので、全体に雨水そのものの濃度よりも若干高めの値が得られていると考えられるが、表Ⅱ5-2に引用した<sup>3)</sup>他地区の雨と比較すると、肥料工場の影響を受けてかなり高い値となっている。

## (2) 宇部地区工場群のN、P排気負荷

表Ⅱ5-3に5回のN、P排気負荷調査の結果を示した。また図Ⅱ5-2は第3回調査時の降下負荷分布状況を1例として示したものである。

雨や雪の降り方は断続的であることが一般で、降水継続時間のとり方がむずかしいこと、また対象面積のとり方にもやや任意性がのこることから、上表の排気負荷推定値は概略的なものと解すべきである。主な成果は次のようである。

i) 排気負荷としてはおそらく  $\text{NO}_x\text{-N}$  の方が  $\text{NH}_{3,4}\text{-N}$  より数倍大きいのが、降下物では  $\text{NH}_4\text{-N}$  の方が  $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$  よりも1桁大きい値を示す。

ii) 第2回調査の濃密な雪と、第3回調査の霧雨の場合は排気中のN、Pの降水による捕捉率は高かったと考えられるが、このときの工場群からの  $\text{NH}_{3,4}\text{-N}$  排気負荷推定値は、約3.3 t/日となっている。 $\text{PO}_4\text{-P}$  の排気負荷推定値は0.2 t/日程度である。

iii) これらの排気負荷推定値を排水負荷と比較してみると、昭和51年度のみかけの工場排水負荷に対し、無機態Nでは  $3.3/7.8 = 0.42$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  では  $0.2/0.39 = 0.51$  で、排気負荷の割合はこのような肥料工場群についてはかない高い可能性があることがわかる。

## (3) 降下物によるN、P負荷の供給

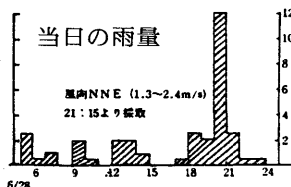
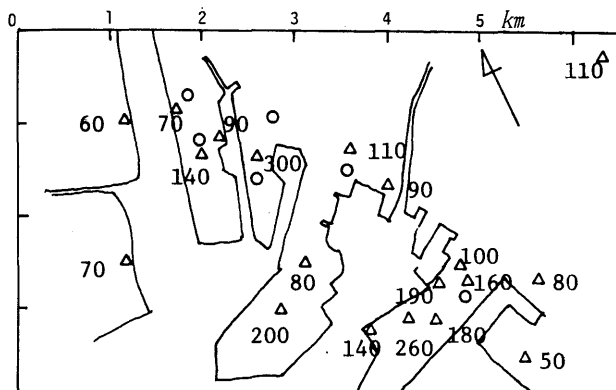
宇部市、徳山市における昭和49年4月から翌3月までの1年間、デポジットゲージ法による無機態N、TPの降下負荷調査の結果は図Ⅱ5-3に示すとおりであり、宇部市では平均N 25  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$ 、P 6.3  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$ 、徳山市ではN 15  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$ 、P 0.6  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$  であり、とくに宇部市においては高い値を示している。

工場群から離れた郊外での降下負荷はN 10  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$ 、P 0.5  $\text{kg}/\text{ha}/\text{年}$  程度であり、これを瀬戸内海の海面面積に乗じると、海面降下負荷はN 47 t/日、P 2.3 t/日となる。

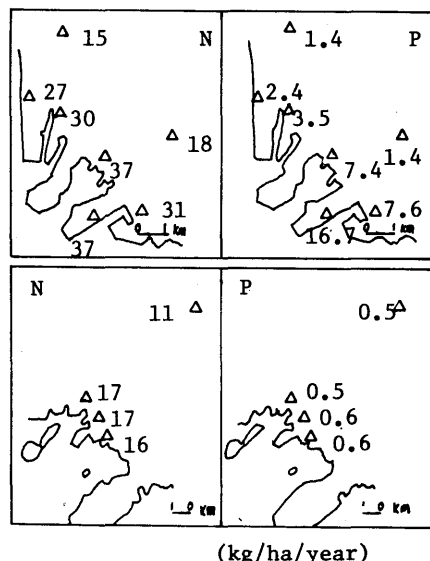
環境庁が行った瀬戸内海沿岸の雨水水質の調査結果<sup>4)</sup>によれば、昭和50年10月より昭和51年2月の57ヶ所、1～2回延べ107回の降雨の平均濃度は  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、0.395、 $\text{NO}_2\text{-N}$  0.016、 $\text{NO}_3\text{-N}$  0.27、 $\text{org N}$  0.356、Total N 1.037  $\text{mg}/\ell$  同様に、 $\text{PO}_4\text{-P}$  0.0153、TP 0.0346  $\text{mg}/\ell$  であり、これに年間雨量、海面面積を乗じる

表Ⅱ 5-3 宇部市工場群周辺の降下物調査によるN,P 排気負荷の推定 (T/日)

	調査方法・調査日	雨の状況など	対象面積	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2,3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
1	雪 昭50.1.18	21時ころから夜間積雪翌朝採集	2.5mm 6時間	31km	1.1	0.04
2	雪 昭50.2.20	12時半～15時半の濃密な7.5mmなボタン雪	2時間	19km <sup>2</sup>	3.3	0.26
3	雨 昭52.6.28	1日中断続的霧雨,終期の3mm程度採集	3mm 3時間	25km <sup>2</sup>	3.3	0.67
4	雨 昭52.7.1	やや大粒の雨,朝から15時ころまで断続的,終期の3mm程度採集	3mm 1.5時間	25km <sup>2</sup>	2.4	0.39
5	雨 昭52.7.16	21時半～22時半の短時間に強い雨	3mm 2時間	10km <sup>2</sup> 東部のみ	2.4	0.06
					0.18	



図Ⅱ 5-2  
降雨採集調査による N  
排気負荷の推定例  
(昭和55年6月28日)



図Ⅱ 5-3 宇部・徳山地区のN,P降下負荷

表Ⅱ 5-4 大気経由の N 負荷に関する諸元の推定値 (N T/日)

	Org-N	NH <sub>3,4</sub> -N	NO-N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
排水負荷推定値 (瀬戸内海沿岸)	500				
排気負荷推定値 (瀬戸内海沿岸)	150	500			
大気中濃度 N (ug/m <sup>3</sup> )		1~10	5~50	5~50	0.5~5
雨水中濃度 (瀬戸内海沿岸平均値)	NH <sub>4</sub> -N と同程度 (0.36)	0.1~ 2.0 (0.40)		0.01~ 0.05 (0.016)	0.2~ 1.0 (0.27)
降下負荷推定値 (瀬戸内海海面)	50				

ことにより、雨による瀬戸内海へのNの直接供給量を70～80 t/日と推定している。この計算値は比較的雨量が小さく、濃度が高い雨の水質を用いることで正の、晴天時降水物を含まないことで負の誤差を、さらに沿岸部ということで正の誤差をはらむ可能性がある。おそらくNは正の、Pでは負の誤差を与えているのではないかと考えられる。

直接海面への降水物による供給負荷量は陸上からのN、P供給量のそれぞれ10%、5%程度に相当する。(巻末資料10にN、P降水負荷の報告値を示しておく。)

#### (4) 大気経由のN負荷と排気負荷、大気濃度等の関係

種々の文献値や著者の試算値を参考にして、大気経由のN負荷に関する諸元の概数値を一覧表にまとめてみると表Ⅱ5-4のごとくになり、以下のようなことが指摘できる。

i)  $\text{NH}_{3,4}\text{-N}$ の排気負荷は陸上から水を介して排出される全N負荷の30%程度であるが $\text{NO}_x\text{-N}$ の排気負荷は全N排水負荷と同程度である。

ii) 大気中の $\text{NH}_{3,4}\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度と雨水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ がそれぞれよく対応するようである。 $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ は雨水に同程度によく溶けるが、 $\text{NO}_2$ はこれらに比較してかなり溶けにくい。

iii) 降水負荷としては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{Org-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が重要である。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $\text{NO}_x$ の排出と直接関係せず、硝酸使用過程からの排気や $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ の大気中での酸化によって二次的に生成する $\text{NO}_3^-$ に由来するものと考えられる。

iv) 瀬戸内海海面への降水負荷は排水負荷に対してNで10%程度(Pで5%弱)であろう。

大気経由の負荷は排水経由の負荷に比較して、拡散が大きく、広域の汚濁への寄与が大きいケースもあると思われ、また水系の富栄養化のみならず、陸上生態系への影響も無視しえない。その重要性に鑑み、今後も実態の解明に努力が払われなければならないと考えられる。今後の課題として重要なものとして

i) 各発生源でのN収支と大気へのN排出量の実態を把握する。

ii) 大気中での $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ から $\text{NO}_3^-$ の生成機構の解明

iii) 大気中の $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度データの蓄積

iv) デポジットゲージによるN、P降水量データの蓄積

などが挙げられる。

## Ⅱ - 6 第Ⅱ部の総括(N, P発生源に関する研究成果のまとめ)

### (1) わが国におけるN, P動態図の作成

Ⅱ - 2章においては、富栄養化現象が人間の食生活と密接な関係にあるとの認識から、食・飼料サイクルを基本にした、わが国の昭和45年度におけるN, P動態図を作成した。

食・飼料自給率はその後もやや低下の傾向にあるが、これらの図に示された基本構造は10年後の現在でも通用するものであり、富栄養化制御の対策の方向づけを示した点で意義があるものと考えられる。すなわち、食・飼料サイクルをできるだけ閉じたものにするために、i) 食料自給率を高めて有機物の農地還元場を確保し、ii) 化学肥料をできるだけ、有機肥料、回収肥料に代替することが、生態学的にみた富栄養化対策のあり方であり、対策の中心に据えられるべきことを指摘した。

### (2) N, P負荷原単位の精度向上

Ⅱ - 3章においては、生活下水、工業排水、農業排水について、物質収支法を利用したN, Pの発生・排出負荷原単位の設定方法を提示し、

i) 生活下水のN, P発生負荷原単位は、 $N\ 12\ g/人/日$ 、 $P\ 1.71\ g/人/日$ 程度であり、そのうち家庭で排出される負荷は $N\ 9\ g/人/日$ 、 $P\ 1.48\ g/人/日$ 程度である。さらにそのうち、し尿は $N\ 7.5\ g/人/日$ 、 $P\ 0.76\ g/人/日$ 程度である。

発生負荷原単位の残り、 $N\ 3\ g/人/日$ 、 $P\ 0.31\ g/人/日$ 程度は昼間人口移動に伴って家庭外で排出される。この負荷は、これらの値を就業者率で除したものを原単位とし、業務人口を発生源基数として計算する方法が合理的であることを示した。

ii) 工業排水については、業種ごとに非常に多様な実態を有しているので、生活下水のように一般化することはできないが、物質収支法を利用して、主要業種のN, P排出負荷原単位を整備した。各工程単位、各工場単位など色々の段階で物質収支をとっていくことは、工業排水の場合にはとくに重要であることを示した。

iii) 家畜汚水については、飼料供給量より推定されるN, P発生負荷と糞尿の成分と排泄量より求めたN, P発生負荷がほぼ一致することより、発生負荷原単位として表Ⅱ3-43の程度の値を考えればよいことを確認した。

iv) 農地排水については、その評価方法を整理するとともに、肥料の排出率はNで15～30%、Pで1～4%程度であることを示した。

### (3) 河川の汚濁負荷流達率の測定

Ⅱ - 4章においては河川のN, P, COD流達率について、その考え方を整理し、文献値の咀しゃくや、塩田川、揖保川、加古川、厚東川の長期的な実測調査を通して、その概

略値を把握するとともに、とくに後3河川については、流達率を流出率と流下率に分け、流出率には、農村か市街地かなどの違いにより、0.7～1.0、流下率には、流下距離xに関する指数式（98頁(9)式）をあてはめることにより、ほぼ実測値に近い計算値が得られることを示した。

このような実測調査による流達負荷と原単位計算による排出負荷、あるいは流達負荷の計算値がほぼ一致することは、先に設定した原単位、排出率等がほぼ妥当なものであることの検証にもなっている。

#### (4) 大気経由のN、P負荷

II-5章においては、大気経由のN、P負荷について

- i) 汚染源からはなれた地域での降下負荷は、 $N\ 10\ kg/ha/年$  ( $2.7\ mg/m^2/日$ )、 $P\ 0.5\ kg/ha/年$  ( $0.14\ mg/m^2/日$ ) 程度であること
- ii) 瀬戸内海域沿岸からの $NH_3, 4-N$ の排気負荷は陸域からの全N排水負荷の30%程度であり、海面への降下負荷は同じく全N排出負荷の10%程度であること
- iii) Pの大気経由の負荷は陸域からのP排出負荷の5%以下であることなどを明らかにした。

#### (5) 今後の課題

最後に、N、P発生源に関する今後の課題としては次のようなものがあげられる。

すなわち、流入負荷の計算精度向上について、主要なものとして

- ① 三次産業排水の原単位の精度向上と体系化
- ② 流達率の精度向上のモデルの体系化
- ③ 自然性負荷の評価方法の確立

富栄養化制御の対策に関連する事項として

- ④ 家庭下水の発生負荷原単位の改善可能性の検討
- ⑤ 処理による排出率の改善とそれに要する費用、エネルギー等の関係の解析
- ⑥ 農地排水の昔と現在の比較評価

などが、今後さらに追求すべき課題の主要なものである。



## 第Ⅲ節 富栄養水域におけるN, Pの挙動と水質予測に関する研究

### Ⅲ-1 概 説

#### 1・1 はじめに

第Ⅱ部においては、主として計画学的な立場から、物質収支を主体にした方法により、富栄養水域へのN, Pの流入過程を明らかにした。第Ⅲ部においても、同様な立場から、富栄養水域の水質予測方法を確立することを目的として、水域流入後のN, Pの挙動に関する研究を行った。

Ⅲ-1章ではまず、富栄養化の概念について著者なりの考え方を示し、Ⅲ-2章では、底泥の評価方法について、Ⅲ-3章では、N, PからのCOD内部生産の評価方法について論じ、Ⅲ-4章において、両者を組み入れた水質予測の方法を提示する。Ⅲ-5章は、まとめである。

#### 1・2 富栄養化の概念

##### (1) 富栄養化の定義

富栄養化とは、「水域に栄養が豊富すぎて、植物プランクトンが過繁茂となり、利水上好ましくない状態となること」とされているが、「水清ければ魚住まず」といわれるように漁業にとっては適度の富栄養化はむしろ好ましいことであり、現在でも貧栄養水域では施肥漁業が真剣に検討されているところもある。したがって公害あるいは水質汚濁の範囲に入るような富栄養化に対しては「過栄養化」という言葉をあてるべきだとする意見も水産学分野ではかなり強い<sup>1)</sup>。

また第Ⅰ部でも述べたように狭義には無機の栄養塩から新たに有機物が過剰生産されることをさすのであるが、広義には既製の有機物の流入による汚濁も富栄養化に含めて考える場合もある。この場合は前者を内来性の富栄養化、後者を外来性の富栄養化という。

##### (2) 富栄養度の診断

<sup>2)</sup>吉田は海域の富栄養度の段階区分を貧栄養、富栄養、過栄養、腐水域の4つに分け、それぞれに対応する水質、底質、生物相の特徴、範囲をまとめている。

<sup>3)</sup>岡市はCODと無機態N, Pを組み合わせた富栄養度を提案している。また著者らは富栄養化現象の季節変化が大きいことに着目して、後述する $\Delta$ CODが富栄養度の指標となりうることを報告している。<sup>4)</sup>

しかし、これらはあくまでも一つの目安を与えるにすぎず、富栄養化の度合は単に栄養塩濃度とか、一次生産量とか、底質などそれぞれ単独には判断できないものであって、最終的には生態系の健全度でもって判断されなければならないと考えられる。かりにこれら

指標が一見過大なものであっても、食物連鎖がうまく働いていて、食べ残しのない海ならば、丸茂の指摘しているように、むしろ活性のあるよい海といえるのである。<sup>1)</sup>

一般に富栄養度が増せば生物の種類数、個体数ともに増加する。ある程度以上大きくなると、まず種類数が減少しはじめ、種の構成が単純になってくるが、個体数はなお増加する。この関係を食物連鎖のピラミッドで模式的に表わすと、図Ⅲ 1-1 のようになり、好適な栄養レベルにおいては、プランクトンから高級魚まで、種類構成の多様な安定した生態系が対応するのに対し、富栄養度が大きくなると高級魚は生存しにくくなり、全体に種の構成は単純になって、不安定な生態系が現出する。一方、バイオマス全量は図に示すごとく、富栄養度の大きいほど、大きいと考えられる。

水産業にとっては、適度の富栄養化はむしろ好ましく、貧栄養の場合は、一次生産量が小さい上に、各段階でのエネルギー消費が大きいこと、段階数が多いことから歩留まりもわるく、魚の水揚げは少ない。また一方、過栄養の場合は、一次生産量は大きい、DO 不足などの環境悪化のために有用魚の生産に適さなくなり、食物連鎖は短絡して、魚の水揚げは低下する。

過栄養の状態が極端な形で表われたのが、赤潮であり、植物プランクトンとバクテリアだけの非常に不安定な生態系が一時的に現出する。富栄養化といえば赤潮というような結びつけ方をされることが多いが、赤潮は富栄養化の現象のごく一部分にしかすぎない。

かつて宇部東部地先の建網漁に同行した際、クラゲ、ヒトデ、アオサなどに混ってイシガレイが時々かかってくる程度で、味のよいマコガレイの漁獲は皆無であった。

潜在的に進行する、このような生態系全体の変化を問題にすべきであると考えられる。

### 1・3 富栄養水域の水質管理

#### (1) 水質・底質と生態系サイクル

陸上からの汚濁物質の流入と、湖の水質、底質および生態系への影響の関係を Sawyer<sup>5)</sup> は図Ⅲ 1-2 のように模式的に表現している。

これを参考にして、沿岸海域への N、P 等汚濁物質の陸上からの排出と、水質、底質などの関係を、岸からの距離を考慮に入れて、模式的に表わしたのが、図Ⅲ 1-3 である。

富栄養水域の環境管理のためには各々の位置で、水質、底質、さらには生態系サイクルの大きさを明らかにし、これらと陸上からの N、P 等汚濁物質の排出とを関係づけていかなければならない。水質、底質、生態系は本来、一体のものであると考えられるが、技術的には、水質予測、底質予測、生態系予測と段階を経て、解決していかななくてはならない。

#### (2) 富栄養水域の水質管理指標

水域の生態系を規定するもっとも重要な環境因子は食物量と溶存酸素量であると考えら

れる。たとえば高級魚は捕食活動により多くのエネルギーを消すが、その際、低級魚に比べてより多くの酸素を必要とするので、DOの低下は高級魚の生存には不利である。

現行の海域の水質管理はCOD環境基準を柱としている関係上、これまで多くの水質保全計画においてはCOD濃度予測が主流を占めている。しかし生態系との関係をより近いものにするためには、少なくともDO濃度予測まで考慮する必要がある。

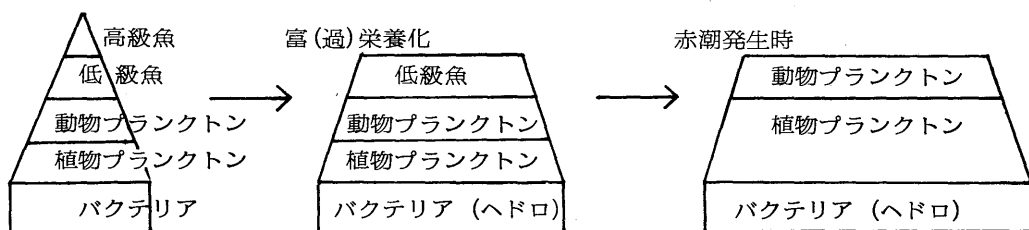
後章においてとりあげる、植物プランクトンによるCODの内部生産の問題にしても、プランクトンの生産するCODと陸上から排出されるCODを全く同じ扱いにするならば岡市らが批判しているように、誤った対策につながる危険性もある。確かに同じCODであっても、植物プランクトンのそれは主として粒状で食物連鎖を通して有効に利用され、効率よく酸化されていく。また一次生産の過程で植物プランクトンは後に要求する酸素と同量の酸素を生産し、DOの収支は差し引き零であり、一部未分解の有機物が残れば、その分だけむしろ酸素の生産に寄与することになる。しかしながら、図Ⅲ 1-4に示すように光合成により生産された酸素は表層において過飽和となり、一部が大気に逃げる。一方、生産された有機物は底層へ沈んでそこでDOを消費する。したがって系を水域だけに限れば、富栄養化はDO収支にとり、とくに底層において不利に働くと考えられる。

結局このように、DO濃度予測の段階まで議論を進めなければ、内部生産の正当な評価をしたことにはならず、COD対策に対して、N、P対策を過大評価してしまうことになりかねない。

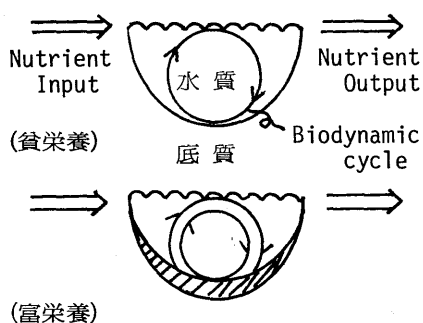
### (3) 本研究における取り組み

水質、底質、生態系の三者は互いに密接に関連しあっているので、水質予測の精度を向上させていくと、おそらく最終的には、底質、生態系を組み込んだモデルに行きつくものと考えられる。そのような取り組みを試みている例も2、3みられるが、<sup>6), 7), 8), 9)</sup>まだ不確定な要素が多いので、まず全体的な物質収支を明確に把握することが先決であろう。

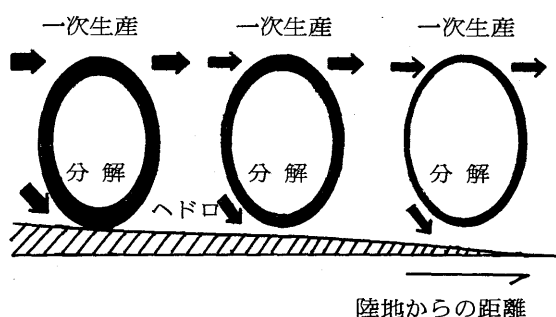
このような背景から、本論文においては、富栄養水域における水質管理に実用できる水質予測方法を確立することを目標において、生態系サイクルの始めと終りの部分すなわち植物プランクトンによるN、PからのCODの生産と底泥からのN、Pの回帰をとり上げ、これらを変化項として組み入れたボックスモデルの適用を検討した。方法論の主体は、第Ⅱ部と同様、物質収支法に基礎をおいている。



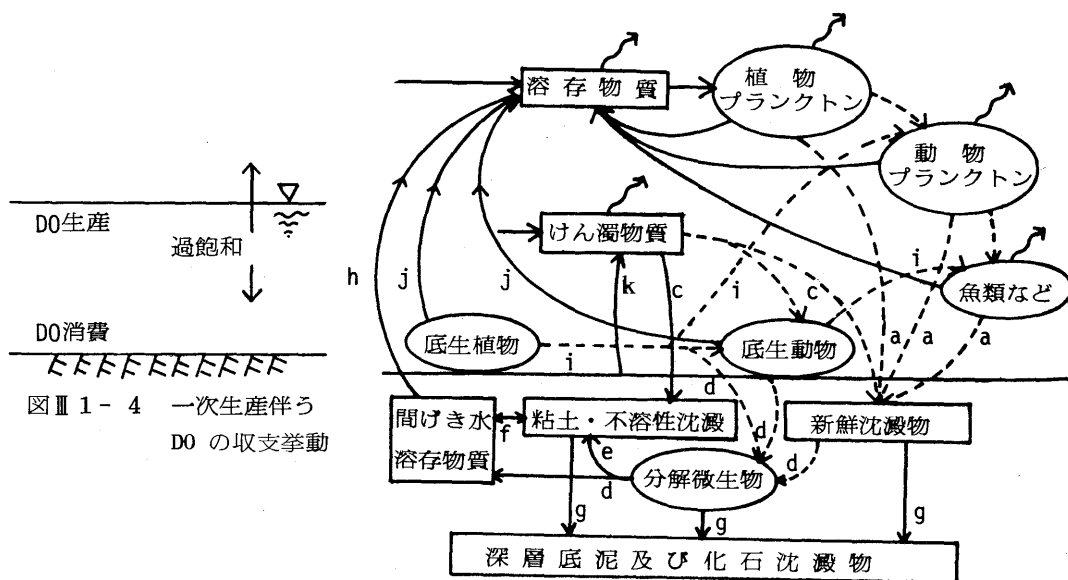
図Ⅲ 1- 1 富栄養化の進行と食物連鎖ピラミッドの変化



図Ⅲ 1- 2 湖の Biodynamic Cycle <sup>5)</sup>



図Ⅲ 1- 3 沿岸域の N , P 生態系サイクル



図Ⅲ 2- 1 底泥と水との間の物質交換

## Ⅲ - 2 富栄養水域における底質評価に関する研究

### 2・1 水質予測における底質評価の意義

底質と水質の間の相互作用については近年ますます大きな関心をよんでいるが、なお全容の解明には至っていない。<sup>1)~5), 6), 7), 8), 9)</sup>

水域生態系において、底泥は底生生物の生息の場としての直接的な役割の他、

i) 有機物の分解、無機化 ii) 栄養塩の再生、貯蔵 iii) 有害物質の固定化 など水質の自浄作用ないし緩衝作用を有する点で重要である。

しかし、自浄作用の限度を越すと、酸素消費、硫化物の生成、栄養塩の過度の溶出、植物プランクトンの異常増殖を支える生長促進因子の供給等、好ましくない影響を及ぼすようになり、底泥による二次汚染が問題になる。とくに水質が改善されると、改善以前の水質と平衡していた底泥は新しい平衡状態に到達しようとするので、水質を汚濁する方向に作用する。したがって、陸上からの流入負荷の変化、底質改善事業等による水質変化予測を行う際、底質をどのように評価し、モデルに組み込むかは非常に重要な課題である。

図Ⅲ 2-1 は水と底泥の間の物質交換の概念図を表わしたものである。N, P の挙動について、この図に基いて整理してみると、次のような段階に分けて考えることができる。

① 堆積機構 生物遺骸の沈殿 (a), 溶解性物質の吸着, 沈殿 (b), けん濁物質の沈殿 (c), 沈殿物の再浮上 (k)

② 変化機構 有機物の分解、無機化 (d), 吸着沈殿平衡の移動 (e, f), 腐植化, 化石化 (g)

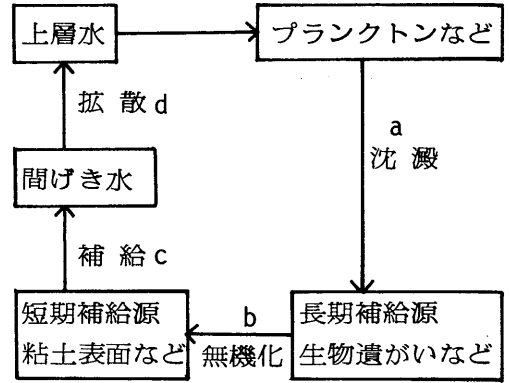
③ 移動, 溶出機構 間げき水よりの拡散, 溶出 (h), 生物の摂食, 体謝, 排泄 (i), 沈殿物の再浮上 (k)

本章においては、N, P の溶出に焦点をあて、底泥は有機物の分解、栄養塩の再生の場であり、生態系サイクルの重要な一環であるという理解のもとに研究を行った。ただし溶出に主眼をおくといっても、その正確な評価や予測のためには、当然堆積、変化機構を含めた全般の機構を考慮する必要がある。つまり底泥における N, P の物質収支を明らかにする必要がある。(図Ⅱ 2-2)。

図Ⅲ 2-3 は N, P および N, P 溶出に関係する C, O, S の底泥中の変化, 移動の状況を示したものである。N, P は主として粒子状の有機態の形で供給され、泥中で  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  に無機化され、大部分は上層水へ溶出回帰し、一部分は腐植質あるいは難分解性の形で深層堆積物を構成する。汚れた泥では DON, DOP としての溶出も無視できないが、通常  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  の溶出をみて、大勢を把むことができる。また、きれいな泥

ではNO<sub>3</sub>-Nの形で溶出する場合もあるが、通常の内湾泥ではこの割合は小さい。

底泥の酸素消費性は水質への直接的な影響としても重要であるが、N、Pの溶出とも密接な関係がある。たとえば有機物の分解に伴ない、量論的にNH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pの生成が起ると考えられ、またPの挙動は好嫌気度によって大きな影響を受ける。Pの溶出モデルにはしたがって、C、O、Sの挙動も同時に考慮していく必要がある。



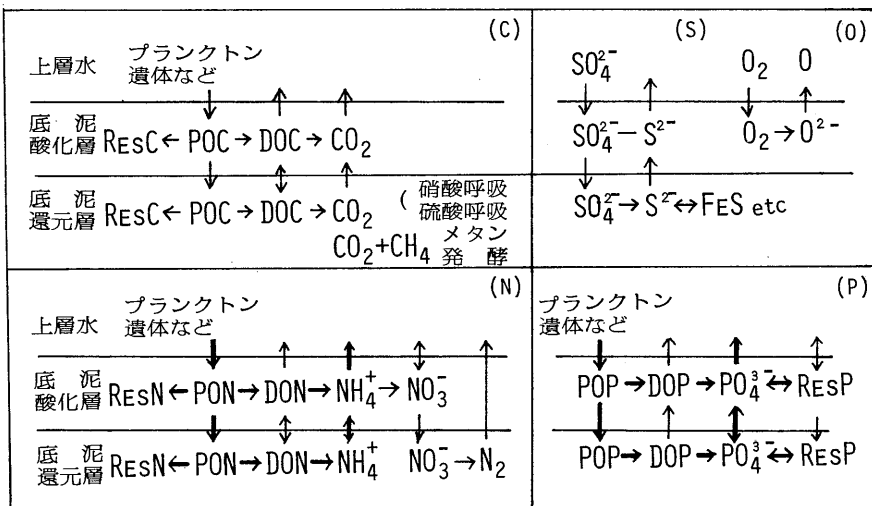
図Ⅲ 2- 2 N，P 溶出の模式図

## 2・2 研究目的および方法

本章の研究目的は、底泥と水との間のN、Pの挙動を明らかにして、富栄養水域における水質予測モデルのサブモデルとしての底質予測モデルを確立することである。

研究方法の概略は以下に示すとおりである。

- ① N、P溶出速度の測定方法について検討する。
- ② 溶出速度に関連する重要な指標について、その測定方法について検討する。
- ③ Nの溶出について、吸着平衡と間げき内拡散を組み合わせたモデルをたて、解析する。実験を行って解析解との検討を行う。



ResC, ResN, ResP : 腐植質あるいは難分解性の有機C, N, P  
 POC, PON, POP : 粒子状の有機C, N, P  
 DOC, DON, DOP : 溶解性の有機C, N, P

図Ⅲ 2-3 底泥中の N，P 等の挙動概念図

④ 底泥、水の柱状システムについて、堆積、分解、溶出、吸収のN循環モデルをたて、数値解析を行って、底泥と水の間におけるNの挙動の季節変化を再現することを試みる。

⑤ このNに関する底質予測モデルをボックスモデルによる水質予測にくみ入れて、Nの長期的な水質予測の方法について検討する。

## 2・3 研究結果

### 2・3・1 N, P溶出に関連する底質指標について

#### (1) N, P底質項目の分析方法<sup>10)</sup>

① 間げき水中のNH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P (N\*, P\* μg/ml) 湿泥を遠沈管にとり、1万rpm, 15分間遠心分離する。上清をNO5C濾紙にて濾過した濾液を間げき水試料として、NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pの分析に供する。

泥の深さ(層位)や、分析までの放置条件によって値が異なるので注意を要する。

② 補給層のNH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P 湿泥10~20gを遠沈管にとり、間げき水を分離後、速やかにN<sub>2</sub>ばっ気海水25mlを加える。ガラス棒で泥をほぐし、回転子を入れ、上部空間の空気をN<sub>2</sub>で追い出しながら密栓する。スターラーで2時間、攪拌しながら放置後、遠心分離して間げき水を得、そのNH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P濃度を測定する。

この操作を何回かくりかえす。n回めの抽出液の濃度は次式で与えられる。

i) 補給のないとき、

$$C_n = \left\{ a / (V + a) \right\}^n C_* = d^n C_* \quad \dots\dots\dots(1)$$

C<sub>n</sub> : n回目の抽出液濃度 (μg/ml)

C\* : 間げき水の濃度 (μg/ml)

ii) 補給のあるとき

a : 遠心残泥中の水分量 (ml)

$$C_n = \left\{ \frac{a + (A/\alpha)}{V + a + (A/\alpha)} \right\}^n = dr^n C_* \quad \dots\dots\dots(2)$$

V : 抽出液量 (= 25 ml)

A : 泥固形部乾重 (g)

α : 補給平衡定数 (g/ml)

(1), (2)より

d, dr : 補給のないときあるいは補給を考慮した希釈率

$$\log C_n = n \log d + \log C_* \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\log C_n = n \log dr + \log C_* \quad \dots\dots\dots(4)$$

となり、片対数紙に、nとC<sub>n</sub>の関係をプロットして得られる直線の傾きからd, dr, αを得る。αが求まれば、次式より補給濃度E (μg/g乾泥)を算出することができる。

$$C_* = \alpha E \quad \dots\dots\dots(5)$$

この方法はかなり手間がかかるので、経常分析には不向きである。

#### ③ 可給態N, P (BDN, BDP μg/g湿泥)

可給態N, Pは図Ⅲ2-3のPONとNH<sub>4</sub>-NあるいはPOPとPO<sub>4</sub>-Pの含量に対応

するN、P濃度の指標として導入したもので、生分解可能という意味でBDN、BDP（B：Biodegradable）と略称する。測定方法は以下のとおりである。

100 ml 容中口共栓ビンに湿泥5 g程度を秤量し、清浄なN<sub>2</sub> ばっ気海水を満杯密栓して、現場の夏期水温にて暗所定温に保存する。0、5、10、15、30、60日後などにとり出して、振とう後、可溶性のNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pを測定する。

可溶性のNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P濃度は、まず手で沈んでいる泥を分散させたのち、さらに15分間振とう機にかけ、その後1時間放置して、上澄をGFC濾過し、濾液のNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P濃度を測定する。

$$S = (C - C_0) B / A + \left( \frac{r}{\beta} + \frac{1 - r}{1.026} \right) C \quad \cdots \cdots (6)$$

ここに S：可溶性N、P（μg/g 湿泥）、r：乾泥率、B：海水量（ml）

A：湿泥量（g）、C<sub>0</sub>、C：振とう前後の海水のN、P濃度（μg/ml）

β：分配係数（g/ml）、1.026：海水の密度（g/ml）

水産学の文献では、 $S = (C - C_0) B / A \quad \cdots \cdots (7)$  として、Sを算出することになっているが、振とうに使用する海水が十分清浄でなければ、過小に計算される危険がある。とくにPについては、 $r/\beta$ の項が重要であり、その傾向が著しいが、(6)式による場合もβを求めるのはそう容易ではないので、好氣的な泥については、やや実用性にかける。Nの場合は、便宜的にβ=1とみて、Sを算出することが多い。

$$S = (C - C_0) B / A + C / \beta \quad \cdots \cdots (8)$$

t日後のSをBDN<sub>t</sub>、BDP<sub>t</sub>と定義する。最終BDN、BDPはSの経日変化グラフより読みとる。この値をS<sub>d</sub>とすれば、t日後の未分解有機物Fの濃度（μg/g 湿泥）は次式より求まる。

$$F = S_d - S \quad \cdots \cdots (9)$$

保温中のSの増加はNの場合は有機物の無機化によるものとみてよいが、Pについては無機化によるものの他、それに伴う嫌気状態の進行によって、化学的に可溶化してくる部分もかなりあると考えられる。したがって、有機物の分解速度としては、Nについて求められたものを用いるべきである。なお化学的に可溶化するPの濃度は以下のような方法で測定することができる。すなわち、遠心管に湿泥5 g程度とり、N<sub>2</sub> 送気下にNa<sub>2</sub>S海水（Na<sub>2</sub>S・9H<sub>2</sub>O 1%，硫安5%，PH8）を10 ml加え密栓し、50℃、2時間ときどき振とうしながら放置後、GFC濾過の濾液についてTPの分析を行う。

ただし REP：還元剤可溶性P（μg/g 湿泥）

$$REP = \left( 10 + \frac{1 - r}{1.026} \right) C / A$$

C：抽出液のTP濃度（μg/ml）

.....(10)

A：湿泥量（g）



## (2) 底泥中の N, P 存在状態

① N, P 底質項目の相互関係 図Ⅲ 2-4 は前項の N, P 底質指標間の関係を模式的に表わしたものであり、表Ⅲ 2-1 には著者の実験した範囲で、TN, TP に対するこれら諸指標の割合をまとめた。30℃, 10 日間の BDN, BDP の TN, TP に対する割合はそれぞれ 4~8%, 6~13% であり、間げき水中には N, P とも 1% 以下しか存在していない。

② 無機態 N, 無機態 P の割合 一般に泥中では TN の大部分は有機態で存在し、P では逆に無機態の方が多く存在するとされている。著者らの経験でも、無機態 N の TN に占める割合はせいぜい 3~4% 程度、無機態 P の TP に占める割合は 70~90% である。

③  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{PO}_4\text{-P}$  の吸着形態の相違 遠心分離の回転数と分離されてくる間げき水の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度の関係 (図Ⅲ 2-5), 連続抽出実験における抽出液の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度 (図Ⅲ 2-6), 吸着平衡の経時変化 (図Ⅲ 2-7) などからみて、底泥中のこれらの存在状態は N と P で図Ⅲ 2-8 に示すような相違があるのではないかと考えられる。すなわち N は補給層が粘土粒子表面に限定され、間げき水と補給層の境界が明確であり、(5) 式のような平衡関係がすみやかに達成される。これに対して  $\text{PO}_4\text{-P}$  は粘土粒子等の固相の近傍ほど密度が高く、徐々に密度は低くなっており、間げき水と補給層の境界は明確でない。

### 2・3・2 N, P 溶出速度の測定

#### (1) 溶出速度測定方法

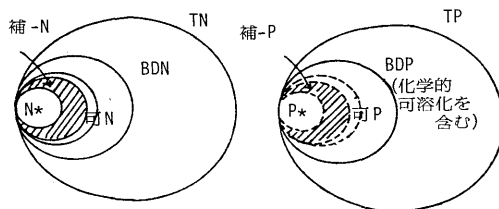
① 柱状試料の摂取方法 船上より図Ⅲ 2-9 に示すような特製のコアサンプラーによって、10 cm 径のアクリルパイプに 10~20 cm の厚さの不攪乱試料を採取する。水深 15 m 程度までは、ポールを継いでいくことによって採取可能であるが、不可能な場合はエックマンバージで採泥後、サイホンにより浮泥を流出させぬよう上層水を排除した後、バット上におとし、アクリルパイプを上から押し込んで作成した柱状試料で代用する。

② 溶出実験の方法 図Ⅲ 2-10 に大径コアによる溶出実験および小径コアによる酸素消費性の実験方法の手順を示した。

#### (2) 溶出速度測定結果

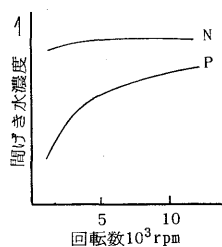
① 溶出速度地域分布 昭和 52~53 年に宇部地先海域および徳山湾において行った底質調査から、N, P 溶出速度および酸素消費性の測定結果を図Ⅲ 2-11 に示した。

酸素消費速度  $r_o$  は  $300 \sim 1,000 \text{ mg O}_2 / \text{m}^2 / \text{日}$ , N 溶出速度  $r_N$  は  $10 \sim 300 \text{ mg N} / \text{m}^2 / \text{日}$ , P 溶出速度  $r_P$  は  $0 \sim 50 \text{ mg P} / \text{m}^2 / \text{日}$  の値が得られ、水の汚濁度とよく対応した分布が得られている。

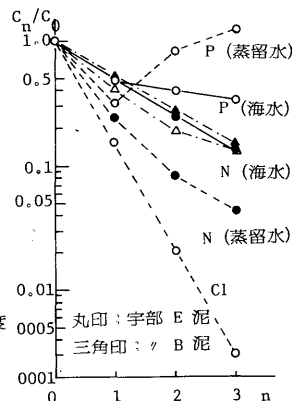


図Ⅲ 2-4 泥の N, P 分析指標の構成

補 N, P : 補給層の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度  
 $\text{N}^*$ ,  $\text{P}^*$  : 間けき水の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度  
 可 N, P : 可溶性の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度  
 BDN, P : 生物化学的分解可能 N, P 濃度



図Ⅲ 2-5 遠心分離回転数と  
 間けき水の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度

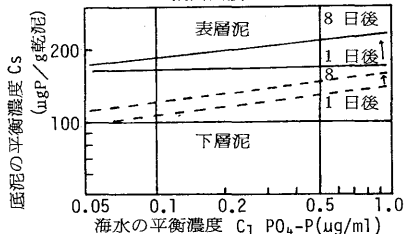


図Ⅲ 2-6 連続抽出実験における  
 抽出回数と抽出濃度の関係

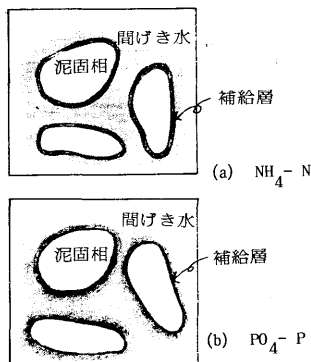
表Ⅲ 2-1 N, P 底質項目の相互関係 (%)

	a	b=c-a	c	d=e-c	e	f
	間けき水	(補 N, P)	可 N, P		BDN, P	TN, TP
N	0.5~0.8	0.6~1.0	1.1~1.8	3~6	4~8	100
P	0.2~1.0	0.7~1.5	0.9~2.2	5~11	6~13	100

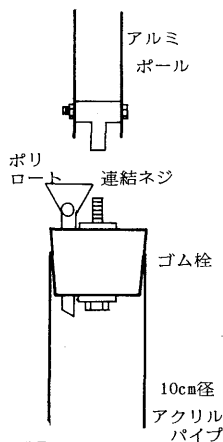
TN, TP を 100 とした存在量の相対値で表わす。



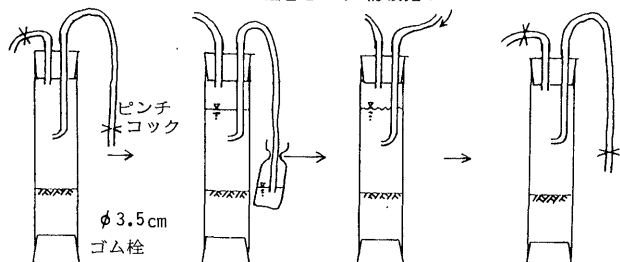
図Ⅲ 2-7 海域泥の P 吸着平衡時間的变化



図Ⅲ 2-8 底泥中の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  の存在形態



図Ⅲ 2-9 コアサンプラー略図



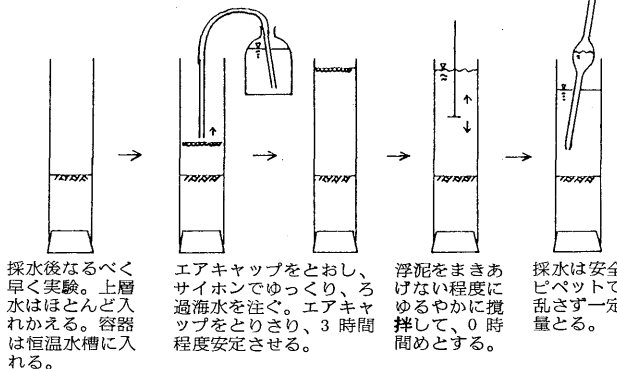
大径コアと同様の  
 方法で海水を満た  
 したのち図のように  
 ゴム栓をする。

ピンチコックを外  
 して採水する。  
 (あらかじめ、少量  
 の水はすてる。)

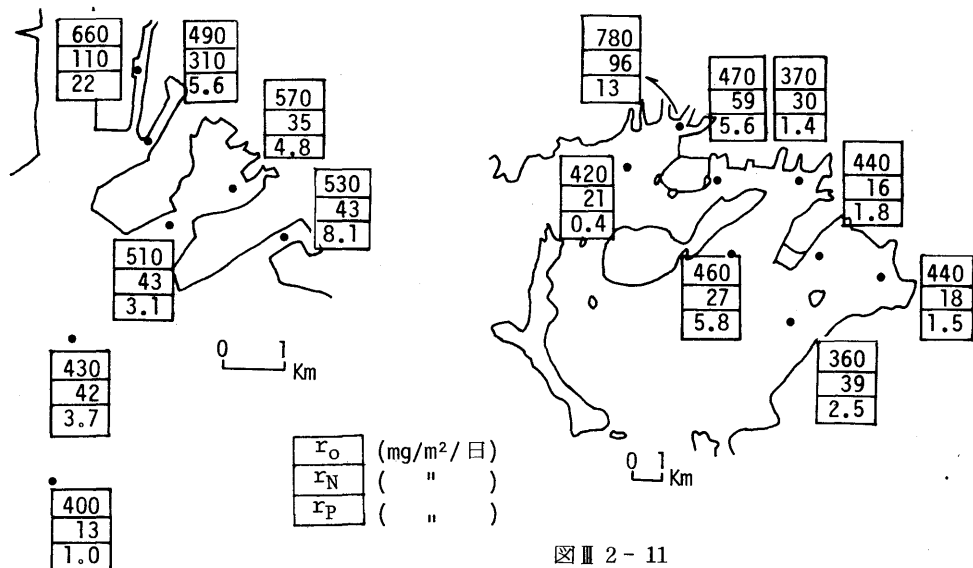
空気があついたらろ  
 過海水をサイホン  
 でゆるやかに補給  
 する。

ピンチコックをし  
 て恒温水槽に  
 入れる。

小径コア (閉鎖) による酸素消費性実験手順



図Ⅲ 2-10 大径コア (開放) による溶出実験手順



図Ⅱ-11

宇部海域底泥の酸素消費性 ( $r_0$ ),  
N, P 溶出速度 ( $r_N, r_P$ )

$\left\{ \begin{array}{l} S52. 7.26 \\ 10.26 \\ S53. 3.29 \\ 6.5 \text{ の平均値} \end{array} \right\}$

徳山港底泥の酸素消費性 ( $r_0$ ),  
N, P 溶出速度 ( $r_N, r_P$ )

$\left\{ \begin{array}{l} S52. 8.9 \\ 11.22 \text{ の平均値} \end{array} \right\}$

表Ⅱ-2 N, P 溶出速度と各指標との関係

採泥場所	採泥日	検体数 $n$	$r_N \sim$ 可溶性N		$r_N \sim \text{BDP}_{10}$		$r_N \sim \text{TN}$		備考
			相関係数	$r_N / \text{可N}$	相関係数	$r_N / \text{BDP}_{10}$	相関係数	$r_N / \text{TN}$	
宇部, 徳山	S51. 夏	12	0.84		0.92	1.7			
宇部	S52. 7.26	7	0.50	11.9	0.38	1.5	0.28	0.13	河合他 (1974) 4)
	S52. 10.26	6	0.93	4.8	0.93	1.4	0.82	0.08	
	S53. 3.29	7	0.94	3.8	0.84	0.8	0.48	0.05	
	S53. 6. 5	7	0.61	8.2	0.91	1.4	0.73	0.08	
周防灘	S54. 3.	36	0.15	2.1	0.22	0.25	0.14	0.014	
	S54. 夏	36	0.56	5.3	0.49	2.1	-0.08	0.05	
		$n$	$r_P \sim$ 可溶性P		$r_P \sim \text{BDP}_{10}$		$r_P \sim \text{TP}$		
			相関係数	$r_P / \text{可P}$	相関係数	$r_P / \text{BDP}_{10}$	相関係数	$r_P / \text{TP}$	
宇部, 徳山	S51. 夏	13	0.84		0.81	1.6			
宇部	S52. 7.26	8	0.32	1.7	0.84	0.35	0.07	0.045	河合他 (1974) 4)
	S52. 10.26	7	0.90	1.2	0.84	0.27	0.07	0.022	
	S53. 3.29	8	0.99	1.0	0.82	0.15	0.00	0.013	
	S53. 6. 5	8	0.89	1.5	0.93	0.14	0.17	0.012	
周防灘	S54. 3	36							ほとんどの検体 溶出せず
	S54. 夏	36	0.01	3.1	0.54	0.44	0.13	0.016	

( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{日}$ ) / ( $\mu\text{g}/\text{g湿泥}$ )

## ② 溶出速度とN, P底質指標との関係

昭和51年夏に行った徳山、宇部海域の底泥のN, P溶出速度と各指標の相関、昭和52年度4回おこなった宇部海域底泥のN, P溶出速度と各指標の相関、および、昭和54年冬、夏の2回おこなった周防灘海域底泥の、それらの関係を表Ⅲ2-2にまとめた。

なお、N, P底質指標はエックマンバージ採泥した表層1cmの泥についての値である。これらの関係から一般的な傾向として次のようなことがいえる。

i) N, P溶出速度と表層泥のN, P含量との相関は夏季においては可溶性N, 可溶性PよりもBDN, BDPの方が高く、逆に冬季には可溶性N, 可溶性Pとの相関の方が高くなる。

ii) 表層泥のTNと $r_N$ , 同じくTPと $r_P$ の間の相関はあまり高くなく、とくに後者において低い。

同表に一応、表層泥のN, P指標から $r_N$ ,  $r_P$ を推定するための係数を算出して示しているが、これらはあくまでも目安を知る程度のもので解すべきであり、このような簡単な関係で溶出速度を規定することは困難であるといえる。

### 2・3・3 補給拡散溶出モデル

#### (1) 補給機構

① 補給濃度の測定結果 補給層の $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度を先に示した方法によって測定した結果は次のとおりである。

i) 塩素イオンの場合 海域泥から蒸留水にて $\text{Cl}^-$ を連続抽出すると、図Ⅲ2-12のような結果が得られた。補給がないとした理論的な希釈率 $d$ は、実験1で0.16~0.18, 実験2でも0.17~0.19であるのに対してデータのプロットから得られた、 $d_r$ はそれぞれ0.19, 0.20とやや高めの値となっているが、ほぼ補給がないとみてよいことがわかる。

ii)  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ の場合 海域泥から $\text{N}_2$ ばっ気海水で $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ を連続抽出した結果の一例を図Ⅲ2-13に示す。

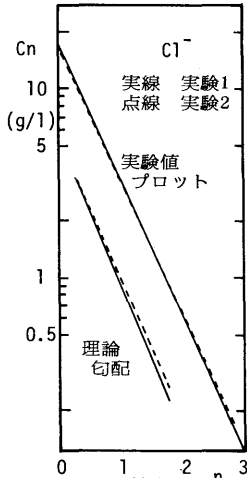
Nについては、(2)式を満足することがわかるが、Pは抽出回数を重ねるごとに、むしろ理論値よりも高濃度に抽出されてくることが多く、Nよりも補給機構が複雑である。

表Ⅲ2-3はこのような実験より求められた $d_r$ より、補給濃度 $E$ 等を算出した結果の一例である。Pについてはごく一部の試料のみ算出した。ただしここで

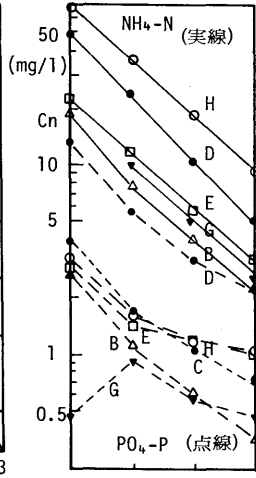
$E$ : 補給濃度, 泥固形部分乾重あたりの補給層の $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ 量 ( $\mu\text{g/g}$ )

$w$ : 泥固形部乾重あたりの全間げき水量 (間げき水比  $\text{cm}^3/\text{g}$ )

一連の実験で用いた泥のN補給濃度はTNに対して、平均3.1%で新鮮泥に対する表Ⅲ



図Ⅲ 2-12 抽出回数  $n$  の塩素イオンの連続抽出実験



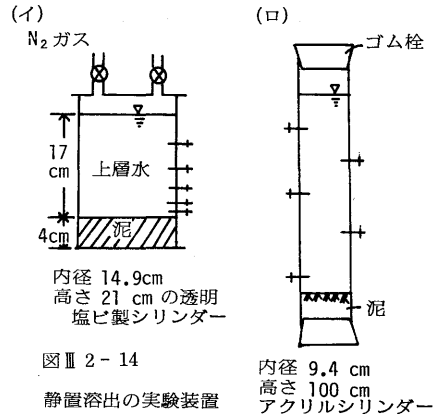
図Ⅲ 2-13 抽出回数  $n$  の  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  の連続抽出実験

表Ⅲ 2-3a  $\text{NH}_4\text{-N}$  補給濃度等測定例

試料泥	$C_*$ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\omega$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	$E$ ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	$E/\omega$ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\alpha$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$E/\omega/C_*$
宇部 B	9.2	1.8	33	18	0.28	2.0
C	27	2.0	72	36	0.37	1.3
D	51	2.3	128	56	0.40	1.1
E	25	1.7	60	36	0.41	1.5
F	17	2.3	17	7.3	1.0	0.4
G	3.9	1.3	17	13	0.23	3.4
H	72	1.6	190	120	0.38	1.7

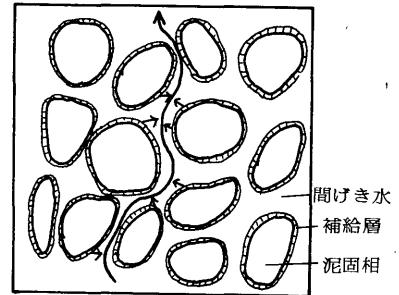
表Ⅲ 2-3b  $\text{PO}_4\text{-P}$  補給濃度等測定例

試料泥	$C_*$ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\omega$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	$E$ ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	$E/\omega$ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\alpha$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$E/\omega/C_*$
宇部 A	10.8	1.82	37.0	20.3	0.29	1.9
B	1.74	1.80	7.22	4.01	0.24	2.3
C	3.94	2.01	15.2	7.56	0.26	1.9
D	10.1	2.18	43.1	19.8	0.23	2.0
E	3.21	1.60	23.7	16.9	0.14	5.3
H	3.92	1.40	29.1	18.4	0.10	6.2



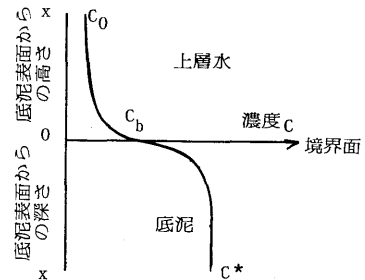
図Ⅲ 2-14 静置溶出の実験装置

内径 9.4 cm  
高さ 100 cm  
アクリルシリンダー

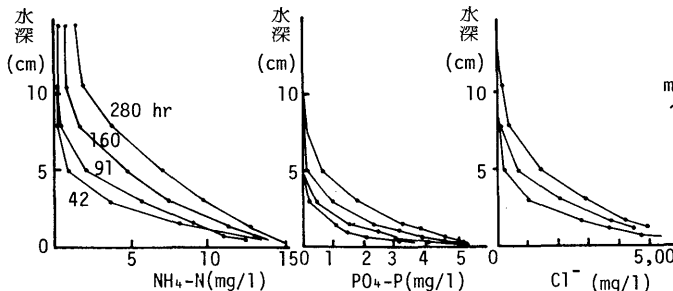


分子の移動行程 (小矢印は補給層からの分子の補給を示す)

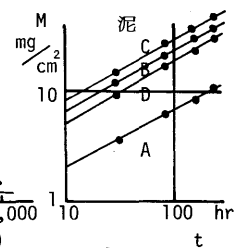
図Ⅲ 2-15 底泥中の分子の移動



図Ⅲ 2-16 間けき水と上層水中の濃度分布



図Ⅲ 2-17 海域泥上の淡水水中の  $\text{N}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{Cl}^-$  濃度分布 (H泥)



図Ⅲ 2-18  $\text{Cl}^-$  の  $M \sim t$

2-1 の値と比較してやや大きい割合を占めている。また間げき水に含まれている  $\text{NH}_4\text{-N}$  の 0.2 ~ 3.4 倍、平均して 1.3 倍程度が補給層に存在している。平衡定数  $\alpha$  は 0.3 ~ 1 g/cm<sup>3</sup> 程度である。

一方、P については、 $\alpha$  は 0.1 ~ 0.3 g/cm<sup>3</sup> と N に比してやや小さめであるが、一般に N のような単純な関係で表現することは困難である。

② 補給速度の実測 補給による間げき水の濃度変化を次式のように表わし、

$$\frac{dc}{dt} = \frac{K}{w} \left( E - \frac{C}{\alpha} \right) = \frac{K}{\alpha w} (\alpha E - C) = K' (\alpha E - C) \quad \dots\dots\dots(11)$$

K : 補給速度定数 (1/sec),  $\alpha$  : 補給平衡定数 (g/cm<sup>3</sup>)

泥中の間げき水の一部を新しい海水と入れ替えて、補給層濃度と間げき水濃度の間に差を与え、以後経時的に間げき水の回復をみて、K を測定することを試みたが、実験技術上の問題などから明確にすることができなかった。そのうち、二例について K' を計算してみると、N、P とも  $0.8 \times 10^{-4}$  1/sec 程度の値が得られたが、おそらくこれより大きな値であり、一般には P の補給は N に比べて遅いようである。

(2) 補給のない拡散による溶出機構 (塩素イオンの場合)<sup>11)</sup>

図 III 2-14 に示すような装置(1)を用い、泥の上に蒸留水を静かにのせ、 $\text{Cl}^-$  の溶出をみる。採水は側壁の 6ヶ所の採水口より行い、上層水の濃度分布を経時的に測定する。 $\text{Cl}^-$  の分析は硝酸第二水銀法によった。

① モデル式 泥中の拡散についてみると、泥中間げき水の濃度変化は次式で表わされる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left\{ \frac{D_M \beta S \frac{\partial C(x+\Delta x)}{\partial \mu x} - D_M \beta S \frac{\partial C(x)}{\partial \mu x}}{\lambda S \Delta x} \right\} = \frac{D_M}{\mu} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

C : 間げき水の  $\text{Cl}^-$  濃度  $D_M$  :  $\text{Cl}^-$  の分子拡散定数 (cm<sup>2</sup>/sec)  $\dots\dots\dots(12)$

S : 泥表面積 (cm<sup>2</sup>)  $\lambda$  : 間げき率 (=含水率 × 湿泥の比重)

$\beta$  : 空げき面積率 (ヘドロの場合  $\beta = \lambda$ ) ,  $\mu$  : 通りにくさの係数

底泥と水面の境界濃度が瞬間的に一定値になると仮定して (図 III 2-15, 16), 上式を

$$C(x, 0) = C_* ; C(0, t) = C_b ; C(\infty, t) = C_*$$

の条件で解くと、底泥 (よく混合して垂直分布を均一にしたもの) と上層水を接触させてから、t 時間後の底泥単位表面積あたりの溶出量 M ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) は次式で与えられる。

$$M = 2 \cdot \lambda \left( \frac{D_M}{\mu \pi} \right)^{\frac{1}{2}} (C_* - C_b) t^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

一方、上層水中の拡散に着目すると

$$M = 2\sqrt{\frac{D_M}{\pi}} (C_b - C_o) t^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(14)$$

$C_*$  : 間げき水の  $Cl^-$  初濃度

$C_b$  : 境界面における  $Cl^-$  濃度

$C_o$  : 上層水の  $Cl^-$  初濃度

となり、両式より、

$$C_b = \frac{\lambda C_* + \sqrt{\mu} C_o}{\lambda + \sqrt{\mu}} \dots\dots\dots(15)$$

② 実験結果 上層水の濃度分布は図Ⅲ 2-17 にみられるような分布を示し、 $C_b$  一定であるとした仮定もほぼ間違っていなかったように思われる。

また溶出量  $M$  と時間  $t$  の関係は図Ⅲ 2-18 に示すように、 $M \propto t^{\frac{1}{2}}$  の関係が成立している。 $C_b$  の実測値と  $NaCl$  の分子拡散定数  $1.3 \times 10^{-5} cm^2/s$  (20℃),  $1.6 \times 10^{-5} cm^2/s$  (25℃) を用いて、(13) 式より  $\mu$  を算出し、さらにこの  $\mu$  を用いて、(15) 式より  $C_b$  を計算すると、表Ⅲ 2-4 のようになり実測値にほぼ一致した値が得られた。 $Cl^-$  の静置溶出のモデル式としては

表Ⅲ 2-4  $Cl^-$  の境界濃度の確認と  $\mu$  の試算

したがって、(12) 式が適用できると考えてよい。

試料	$C_*$	$D = \frac{\lambda^2}{\mu} D_M$	$\mu$	$\lambda$	$C_b$ 計算値	$C_b$ 実測値
Ube A	8,580	$3.6 \times 10^{-6}$	2.00	0.74	2,970	3,000
20°C B	17,500	4.8	1.61	0.77	6,610	6,600
C	17,900	6.8	1.37	0.82	7,380	7,200
D	16,700	4.7	1.59	0.75	6,260	6,200
Ube E	18,100	$4.9 \times 10^{-6}$	1.86	0.78	6,160	6,400
25°C H	18,000	4.1	2.04	0.74	6,590	6,500

### (3) 補給のある拡散による溶出機構 I (上, 下層無限拡散)

① モデル式 間げき水中へ粘土表面等の補給層からの補給がある  $NH_4-N$  や  $PO_4-P$  の溶出の場合には、間げき水中におけるこれらの濃度の時間変化は次式で表わすことができるであろう。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_M}{\mu} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{1}{w} \frac{\partial E}{\partial t} \dots\dots\dots(16)$$

$E$  : 補給濃度

( $\mu g/g$ )

$$- \frac{\partial E}{\partial t} = K \left( E - \frac{C}{\alpha} \right) \dots\dots\dots(17)$$

$w$  : 間げき水比

( $cm^3/g$ )

$K$  : 補給速度定数 (1/sec)       $\alpha$  : 補給平衡定数 ( $g/cm^3$ )

しかし先述のように  $K$  の実測は困難であり、両式を連立して解くことは困難であるので便宜的に次のようなモデルを考える。すなわち、補給は通常の溶出速度と比較して、相対的に速やかに行われるので、常に  $C = \alpha E$  なる平衡を瞬間的に保ちながら、間げき水の濃度勾配に応じて拡散が行われると考えたと

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial C}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{さらに } r = 1 + \frac{1}{\alpha w} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{と} \text{お} \text{い} \text{て} (18) \text{式} \text{に} \text{代} \text{入} \text{す} \text{と}, \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_M}{\mu r} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (20) \quad \text{と} \text{な} \text{り},$$

結局、(15)式と同じとりあつかいができることになる。すなわち、まず底泥間げき水中の拡散に着目して、初期条件  $C(x, 0) = C_*$ 、境界条件  $C(0, t) = C_b$ 、 $C(\infty, t) = C_*$  において(20)式を解くと

$$\frac{C - C_b}{C_* - C_b} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\frac{D_M}{\mu r \pi}} t} \quad \dots\dots\dots (21)$$

界面を通るフラックス  $N$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N &= \lambda \cdot \left( \frac{D_M}{\mu} \right) \left| \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = \lambda \cdot \frac{D_M}{\mu} \cdot \frac{2}{\pi \left( 2\sqrt{\frac{D_M}{\mu r \pi}} t \right)} (C_* - C_b) \\ &= \lambda \cdot \sqrt{\frac{r D_M}{\mu \pi}} \cdot (C_* - C_b) \cdot t^{-\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

$t$  時間後の溶出量  $M$  は、したがって次式で表わされる。

$$M = 2 \lambda \sqrt{\frac{r D_M}{\mu \pi}} (C_* - C_b) t^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

一方、上層水中での拡散に注目すれば、同様に

$$M = 2 \sqrt{\frac{D_M}{\pi}} (C_b - C_o) t^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{また境界濃度 } C_b \text{ は } C_b = \frac{\lambda \sqrt{r} C + \sqrt{\mu} C_o}{\lambda \sqrt{r} + \sqrt{\mu}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

となるはずである。

② 実験結果　まず先の海域泥の上に淡水をはった溶出実験の結果より  $\text{NH}_4\text{-N}$  の境界濃度  $C_b$  を、 $\text{Cl}^-$  について求めた  $\mu$  の値を用いて計算した結果は表Ⅲ 2-5 のようになる。 $C_b$  の実測値は(25)式より求めた計算値より小さく、また  $r=1$  すなわち補給なしとした場合の計算値よりもやや小さめとなっている。この原因は淡水中での補給平衡定数  $\alpha$  が海水中よりも小さいことにあるのではないかと考えられたので、次に海域泥に海水をのせた実験を

表Ⅲ 2-5  $\text{NH}_4\text{-N}$  の境界濃度の確認

行った。

試料	$C_*$	$C_b$ 実測値	$C_b$ 計算値	$\alpha$	$\omega$	$\gamma$	補給なしとした時の $C_b$
Ube E	47.2	14.8	22.5	0.43	1.56	2.49	1.73
H	49.6	14.0	22.3	0.50	1.41	2.42	17.0



結果の1例を図Ⅲ2-19に示すように、溶出量Mと時間tの関係はNについては、常に  $M \propto t^{\frac{1}{2}}$  の関係が得られるが、一方Pについては、 $t^{\frac{1}{2} \sim 1}$  の関係にある。

しかし上層水の濃度勾配は図Ⅲ2-20に示すように多くの場合均一化しており、先の図Ⅲ2-17の状態と好対照をなしている。おそらく先の実験では密度差の存在のため問題にならなかった微妙な乱れが上層水中の濃度勾配を破壊してしまうためと考えられる。いずれにしても、上下層無限拡散を想定した実験では(20)式の妥当性は検証しえなかった。

#### (4) 補給のある拡散による溶出機構Ⅱ (上層水有限, 下層無限拡散)<sup>12)</sup>

① モデル式 次に、上層水濃度を均一とした溶出実験を行い、境界濃度が時間とともに変化するモデルを考えた。基礎式は式(20)と同じである。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\beta D_M}{\lambda \mu r} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{D_M}{\mu r} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = A \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (26)$$

上層水の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を  $C_u(t)$  とおき、

$$C(x, 0) = C_* \quad (x > 0), \quad C(\infty, t) = C_*, \quad C(0, t) = C_u(t)$$

$$\left[ \frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x=0} = \frac{\mu h}{\lambda D_M} \cdot \frac{d C_u(t)}{dt} = B \cdot \frac{d C_u(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$B = \frac{\mu h}{\lambda D_M}, \quad h: \text{上層水水深 (cm)}$$

$C_u(0) = C_0$  の条件のもとに、

$C(x, t)$ ,  $C_u(t)$  を次のように関数変換を行って

$$G(x, t) = \frac{C_* - C(x, t)}{C_* - C_0} \quad F(t) = \frac{C_* - C_u(t)}{C_* - C_0} \quad \dots\dots\dots (28) \quad \dots\dots\dots (29)$$

解を求めると、(30), (31) 式が得られる

$$G(x, t) = \exp\left(\frac{\lambda^3 D_M}{\mu h^2} t - \frac{\lambda^2}{h} x\right) \left\{ 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda \sqrt{\lambda D_M t}}{h \sqrt{\mu}} - \frac{\sqrt{\lambda \mu} x}{2 \sqrt{D_M t}}\right) \right\}$$

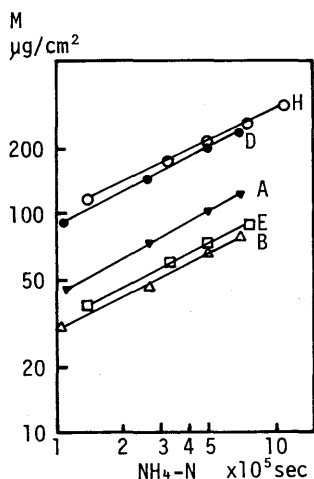
$$F(t) = e^T \left\{ 1 - \operatorname{erf}(\sqrt{T}) \right\}, \quad T = \frac{t}{AB^2} = \frac{r \lambda^2 D_M}{\mu h^2} t \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$F(t) = e^T \left\{ 1 - \operatorname{erf}(\sqrt{T}) \right\}, \quad T = \frac{t}{AB^2} = \frac{r \lambda^2 D_M}{\mu h^2} t \quad \dots\dots\dots (31)$$

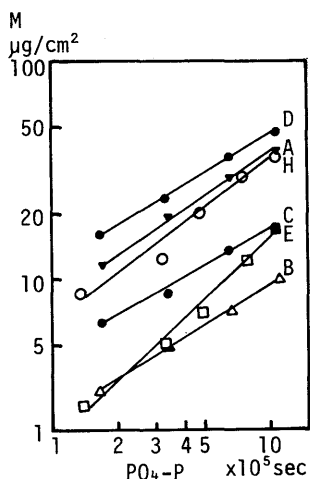
$C_0 = 0$  の場合は

$$C_u(t) / C_* = 1 - e^T \left\{ 1 - \operatorname{erf}(\sqrt{T}) \right\} \quad \dots\dots\dots (32)$$

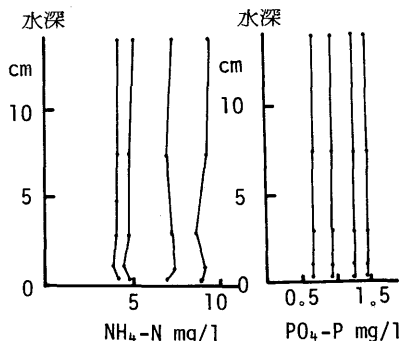
② 実験結果 先の図Ⅲ2-20の  $\text{NH}_4\text{-N}$  溶出データを(31)式に従って整理してみると、図Ⅲ2-21に示すごとく、ほぼ理論曲線にのっているようである。しかしながら、この実験では  $C_u / C_*$  がせいぜい0.2程度までであるので、上層水深を7cm程度にして、



図Ⅲ 2-19 N, P 溶出量と時間の関係

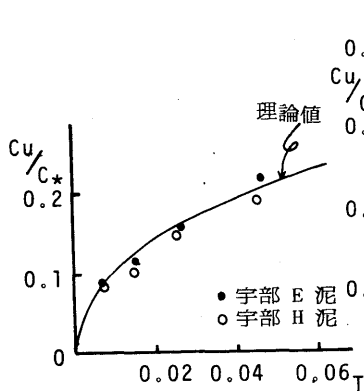


図Ⅲ 2-20 海域泥上の海水中的N,P濃度分布

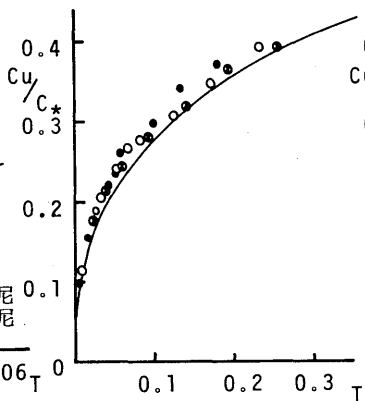


表Ⅲ 2-6 使用底泥の諸元

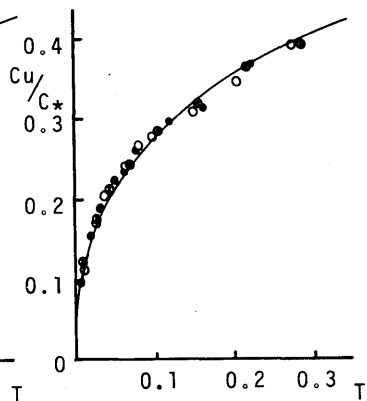
底泥 NO.	C* (µg/cm³)			Cb (Cl⁻ µg/cm³)		μ	α (g/cm³)	γ	h (cm)	λ
	N	P	Cl⁻	実測値	計算値					
宇部 3	41.3	7.70	17,900	6,700	6,660	1.83	0.473	2.17	7.5	0.80
4	34.9	0.51	17,800	6,950	7,170	1.45	0.904	1.51	6.7	0.81
5	82.1	1.65	17,500	6,600	6,580	2.00	0.688	1.62	7.4	0.85



図Ⅲ 2- 21 Cu/C\*とTとの関係



図Ⅲ 2- 22a Cu/C\*とT



図Ⅲ 2- 22b Cu/C\*とT(補正後)

表Ⅲ 2-7 溶出実験に使用した宇部沿岸底泥の諸指標 平均値 (n=15)

	λ	μ	ω	α	γ	DM/μ	γDM/μ
範囲	0.72 ~ 0.85	1.27 ~ 3.20	1.09 ~ 2.35	0.34 ~ 0.49	1.51 ~ 3.13		
平均値	0.76	1.89	1.65	0.41	2.44	0.64*	1.6*

ω:(cm³/g乾泥), α:(g乾泥/cm³), \*: (10⁻⁵ cm²/s)

$C_u/C_*$ を大きくとり、 $NH_4-N$ 溶出実験を行った。また同時に、 $N$ 、 $P$ 補給平衡を求めめる実験や、 $Cl^-$ 溶出実験等を行って解析に必要な諸元を求めた。

用いた底泥の間げき水の $N$ 、 $P$ 、 $Cl^-$ 濃度、 $Cl^-$ についての溶出実験の結果から求められる $C_b$ 、 $\mu$ 、補給平衡を求める実験より得られる $N$ についての $\alpha$ 、 $r$ 、溶出実験における水深 $h$ 、および底泥間げき率 $\lambda$ を表Ⅲ 2-6にまとめた。

次に $N$ の溶出実験の結果について、(32)式の理論曲線と、実測値よりの $C_u/C_* \sim T$ プロットとの比較を図Ⅲ 2-49aに示した。ただし、 $D_M$ としては $Cl^-$ の $20^\circ C$ における分子拡散定数 $1.3 \times 10^{-5} cm/s$ を用いている。この図からみると、全般的に実測値が理論曲線よりも上側に若干ずれている。この原因として、次のようなものが考えられる。

i) 分子拡散定数の設定が適切であったかどうか。

ii) 溶出実験時の泥の圧密沈下による溶出促進の可能性

iii) (27)式において、泥から上層水への $N$ のフラックスを求める場合の、みかけの拡散定数を $\lambda D_M/\mu$ としたことの妥当性

このうちiii)に着目して、みかけの拡散定数を $\lambda D_M/\{(2\mu+1)/3\}$ に補正して、計算しなおすと、図Ⅲ 2-22bのようになり、計算値は実験値とよく一致する。空間的な条件の異なる二層の境界における拡散定数には一方の層における空間条件のみでなく、他方の層の条件もある程度考慮しなければならないことを示しているのではなかろうか。

## (5) ま と め

生物分解の終了した泥からの $NH_4-N$ の溶出機構は(20)式のようなモデルで表わしうる事が確認された。補給のない $Cl^-$ の場合は $r=1$ として扱えばよい。

間げき水中の $NH_4-N$ の拡散係数は $D_M/\mu$ 、間げき水中の $NH_4-N$ 濃度勾配から、 $N$ の移動フラックスを求める場合は $r D_M/\mu$ をみかけの値として用いればよい。

図Ⅲ 2-14の装置Iによる実験から得た $M \sim \sqrt{t}$ の関係より、次式を用いて

$$M = 2 \lambda \sqrt{D'/\pi} (C_* - C_0) t^{\frac{1}{2}}, \quad D' = r D_M/\mu \quad \dots\dots\dots (33)$$

$D_M$ を逆算すると $1.1 \sim 1.3 \times 10^{-5} cm/s$ となる。

表Ⅲ 2-7に参考までに、本節の実験に使用した底泥の $\lambda$ 、 $\mu$ 等諸元と $D_M = 1.2 \times 10^{-5} cm/s$ とした場合のみかけの拡散係数 $D_M/\mu$ 、 $r D_M/\mu$ の平均値をまとめておく。

## 2・3・4 底質の鉛直分布構造と生物分解機構

前節のモデルでは、生物分解の終了した泥を均一に混合したものを泥層とし、間げき水中の $NH_4-N$ の移動、泥境界面から上層水への溶出量を解析したが、実際の泥では通常、鉛直方向に顕著な濃度分布構造を有しており、また季節によって先の表Ⅲ 2-1で示した

ように、泥表層での生物分解によるNH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの生成が直接、N、Pの溶出速度に影響する。

(1) 底質の鉛直分布構造

① TN、TP 一般に表層泥の方が下層泥よりもTN、TP濃度は高い。その濃縮率は泥によって異なるが、通常はPの方がNよりも大きい傾向がある。(表Ⅲ2-8)。

また干出泥のN、Pの鉛直分布の1例を図Ⅲ2-23に示すが、間げき水のNH<sub>4</sub>-NおよびPO<sub>4</sub>-Pは表層に向って低く、TN、TPはやはり表層において濃縮がみられる他、中層での濃度低下がみられる。

表Ⅲ2-8 底泥中のTN、TP鉛直方向分布

底泥	層 位		TN		TP		乾泥率 (%)
			μg/g 乾泥		μg/g 乾泥		
U 3	1	0~10	1,650	3.3	1,340	5.6	36
	2	20	1,410	2.8	1,620	6.8	38
	3	30	528	1.1	326	1.4	56
	4	40	503	1.0	247	1.0	58
S 9	1	0~ 5	2,790	1.8	830	1.4	32
	2	10	2,360	1.5	710	1.2	-
	3	15	2,120	1.4	630	1.1	33
	4	20	2,130	1.4	680	1.1	-
	5	25	1,900	1.2	580	1.0	38
	6	30	1,560	1.0	600	1.0	-

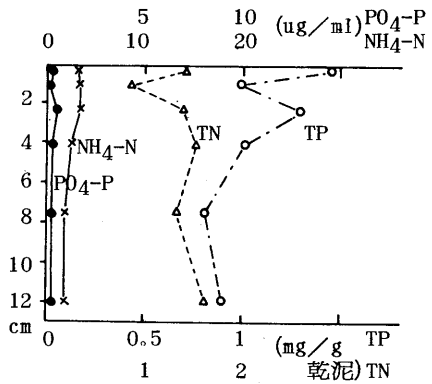
この原因を確認するため次のような簡単な実験を行った。すなわち、1ℓのビーカーに混合した宇部港泥400gを入れ、その上に海水800mlをはって、2週間後に底泥の層別分析を行った。その結果は表Ⅲ2-9に示すとおりであり、物理化学的および生物学的な機構によって

比較的短時間に鉛直分布が形成されることがみとめられた。

② NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの鉛直分布季節変化

図Ⅲ2-24は宇部周辺漁港の底泥間げき水中のNH<sub>4</sub>-N(N\*), PO<sub>4</sub>-P(P\*)および可溶性のNH<sub>4</sub>-N(可-P)、可溶性のPO<sub>4</sub>-P(可-P)の鉛直分布を季節を変えて調べた結果である。

漁港の底泥は人為的な乱れが大きく、採取時ごとに同じ泥をみることはできないので、図Ⅲ2-25には3地点についての8月と12月の濃度分布を、最下層濃度を1とした相対濃度で表示している。これらより一般的な傾向として



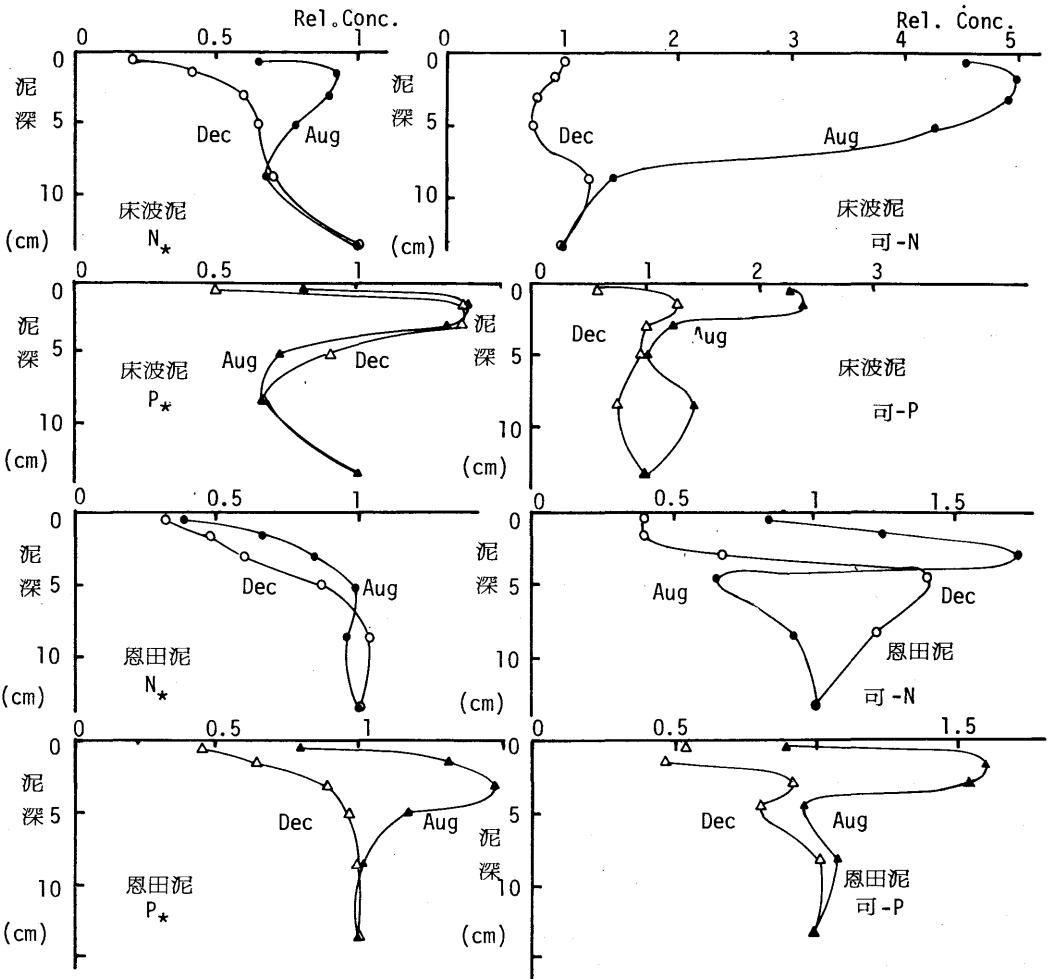
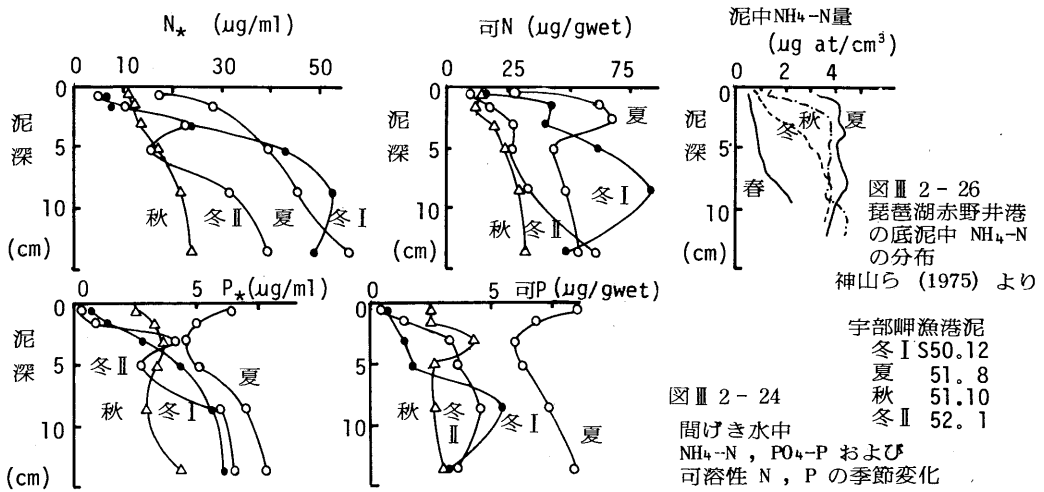
図Ⅲ2-23 干出泥のN、P鉛直分布例

表Ⅲ2-9 底泥表層へのN、Pの濃縮

	間げき水濃度		TP	TN
	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	ug/g 乾泥	ug/g 乾泥
生物膜			2,140	4,300
酸化層	0.48	0.06	1,470	3,610
中層	3.84	4.36	1,080	3,310
下層	9.81	9.36	1,160	3,550

(ug/ml)

i) 間げき水中濃度と可溶性栄養塩類濃度



は同じような傾向を示すが、ただ夏季の表層付近での可-Nの蓄積は $N_*$ に比較してより顕著である。

ii) 夏季にはN、Pとも活発な有機物の分解によって表層部分に $NH_4-N$ 、 $PO_4-P$ の濃度が高まり、濃度分布に応じて上層水や下層間げき水に拡散する。

iii) 濃度の高まりがみられるのは、せいぜい5~7 cmくらいまでで、最大値は2~4 cmの辺りにあるが、Pの場合はやや表層に寄って、2~4 cmくらいまで、最大値は1~2 cm辺りにみられる。

<sup>13)</sup>  
神山らは琵琶湖赤野井湾において、底泥の可-N垂直分布につき同様の調査を四季にわたって行った結果を、図Ⅲ 2-26のように報告している。夏、秋、冬、春と規則正しい変化がみられ、もっとも低温期である初春に最低レベルとなり、温度の上昇とともに回復して、夏季最大レベルになり、以後、上層水への溶出によって、表層から徐々に濃度が低下していく様子が示されている。

著者らの調査でも、同様の傾向が観測されているが、ただ夏は表層泥の方が下層泥よりかなり大きい値を示すことも多い。図Ⅲ 2-24で岬漁港泥の場合、冬季の濃度が秋季よりむしろ大きい傾向があるのは、11月から3月にかけてのり洗浄排水の流入があるためである。

## (2) 底泥中有機物の分解速度定数

① 分解速度定数 $k$ の測定方法  $k$ はBDNの経日変化のデータを用い、分解を一次反応として次式より求めることができる。

$$dS/dt = k (S_d - S) \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$k = (1/t) \cdot \ln \{ (S_d - S_0) / (S_d - S) \} \quad \dots\dots\dots (35)$$

ここに $k$ : 分解速度定数 (1/日)  $S_d$ : 最終BDN ( $\mu g/g$  湿泥)

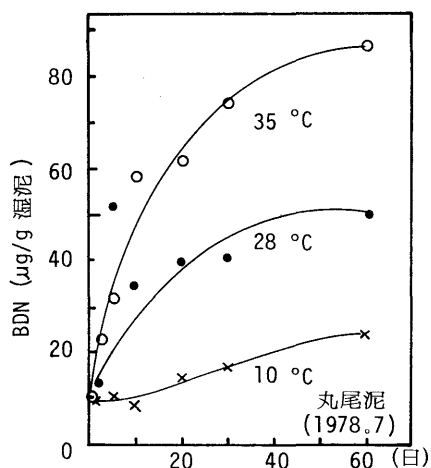
$S$ ,  $S_0$ :  $t$ 日後および0日目のBDN ( $\mu g/g$  湿泥)

$S_d$ のとり方により $k$ の値が変わってくるが、ここでは一応、35℃30日インキュベート後のBDNを $S_d$ とし、 $S$ は現場温度におけるBDNの経時変化の値をあてはめた。

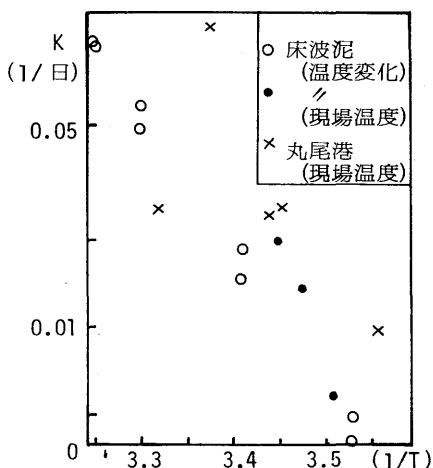
なお参考のために10℃、20℃、30℃における $k$ も求めた。

採泥は昭和53年7月から昭和54年5月にかけて、宇部周辺の丸尾、床波、岬の三漁港において、コアサンプラーを用いて行った。0~1 cmまでの第一層と1~2 cmまでの第二層について、分解速度定数 $k$ を求める実験を行った。

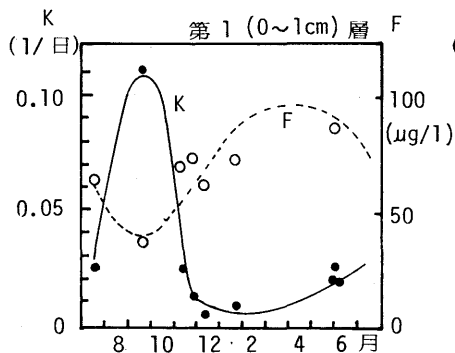
② 実験結果 図Ⅲ 2-27はBDNの経日変化の一例を示したものである。図Ⅲ 2-29は丸尾漁港の底泥について、現場温度条件で求められたNに関する $k$ の値と未分解有機N量 $F$ の季節変化を示した。また図Ⅲ 2-30は同様に、Pに関する $k$ と $F$ の季節変



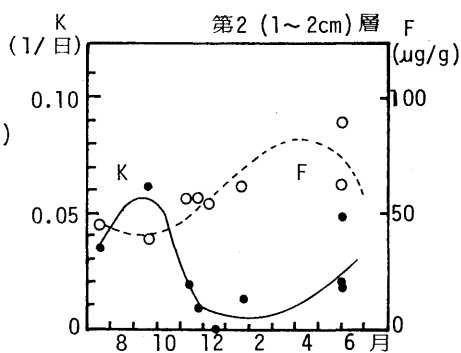
図Ⅲ 2-27 BDN 経日変化



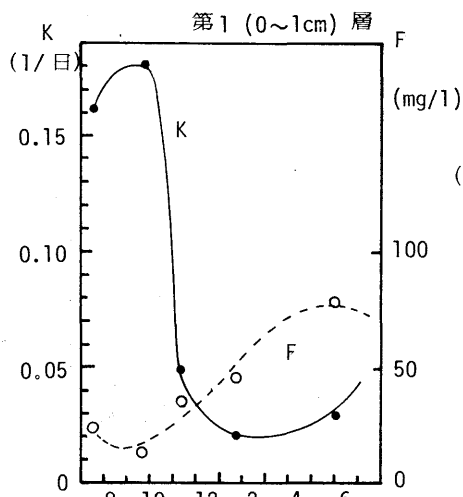
図Ⅲ 2-28 温度と K の関係



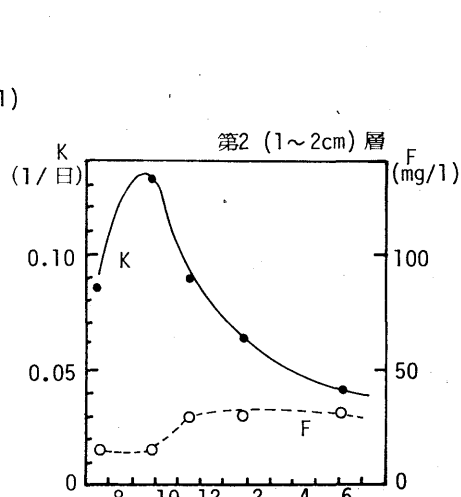
図Ⅲ 2-29 底泥中の未分解有機物濃度と分解速度定数の季節変化 (F)



図Ⅲ 2-29 底泥中の未分解有機物濃度と分解速度定数の季節変化 (K) (N の場合)



図Ⅲ 2-30 底泥中の未分解有機物濃度と分解速度定数の季節変化 (F)



図Ⅲ 2-30 底泥中の未分解有機物濃度と分解速度定数の季節変化 (K) (P の場合)

化を示した。これらより次のようなことが明らかになった。

- i) 現場温度における  $k$  は  $0.005 \sim 0.112$  1/日 で冬より夏の方が高い。
- ii)  $F$  は  $37 \sim 126 \mu\text{g/g wet}$  の範囲であり、 $k$  とは逆に夏より冬の方が高い。
- iii) 上層、下層を比較すると  $k$ 、 $F$  の両者とも、上層の方が大きく、また季節変化の幅も上層の方が大きい。
- iv)  $k$  は温度により大きな影響を受けるが、温度のみによってきまるものでもなく、微生物の活性、基質の状態等によっても異なってくる。したがって、 $\log k$  と  $1/T$  の関係は図Ⅲ 2-28 に一例を示すように、同じ底泥であれば両者はほぼ直線的な関係にあり床波泥 11、12月のデータからは、次式が得られる。

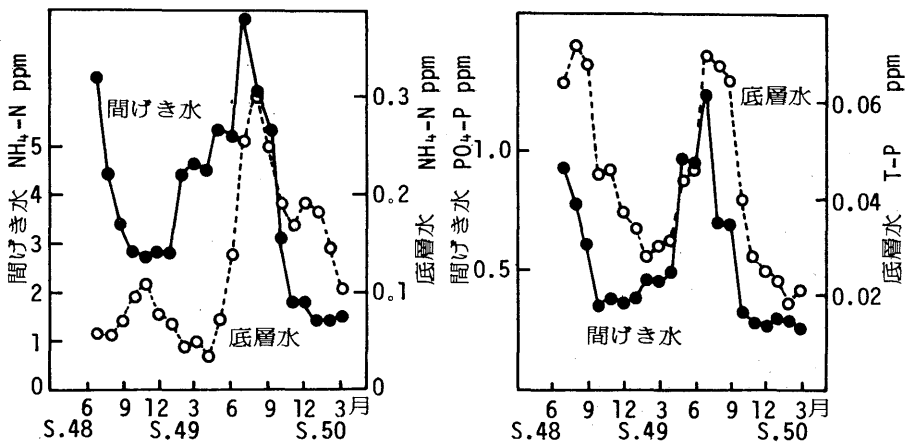
$$\log k = 14.05 - \frac{4640}{T} \quad T: \text{絶対温度 } (^{\circ}\text{K}) \dots\dots\dots (36)$$

v)  $P$  についても、 $k$ 、 $F$  の季節変化は  $N$  と同様であるが、 $k$  は概して  $N$  の場合よりも高く、 $\text{PO}_4\text{-P}$  の生成が生物分解だけでなく、分解に伴う嫌気状態の進行によっておこる化学的可溶化がかなりの割合を占めていることがわかる。したがって生物分解にかかる速度定数は  $N$  に関する  $k$  を用いるべきである。

### (3) 溶出速度の季節変化

図Ⅲ 2-31 a, b には徳山湾中央部の検疫錨地における底層水および間げき水中に含まれる  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  あるいは  $T\text{P}$  濃度の季節変化を調査した結果である。採泥はエックマンバージにより行い、表層  $5\text{ cm}$  の混合泥を  $5 \sim 10$  日間冷蔵保存後に分析した。

この結果から、 $N$ 、 $P$  とともに間げき水中の濃度は高温期に高く、低温期に低い。一方底層水中の  $N$ 、 $P$  濃度はこれに 1 ヶ月程度遅れて同様の季節変化を示しており、底泥からの  $N$ 、 $P$  の溶出がこの程度の時間遅れをもって影響していることがわかる。



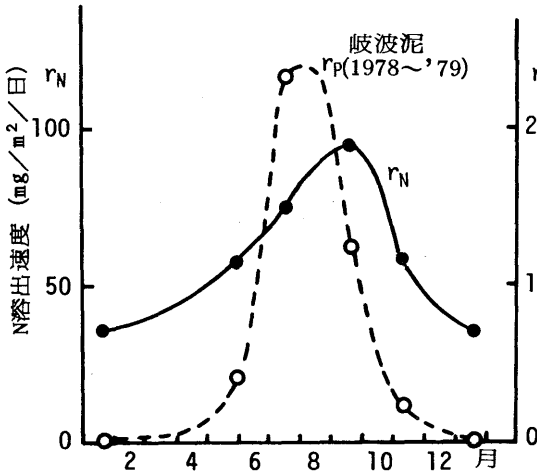
図Ⅲ 2-31 間げき水と底層水の  $N$ 、 $P$  濃度季節変化 (徳山検疫錨地, 3 項移動平均)



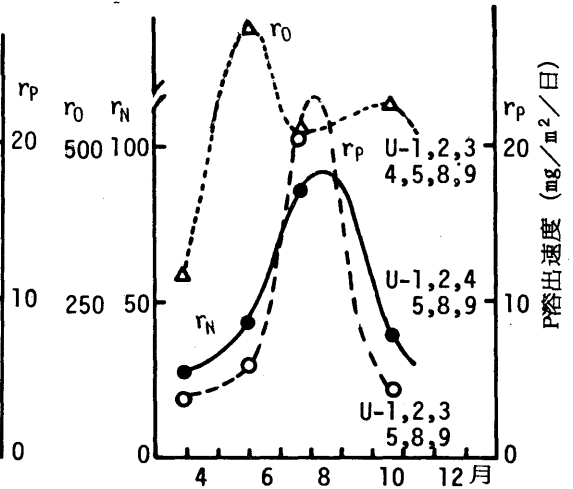
図Ⅲ 2-3 2は宇部周辺漁港泥の調査から、丸尾泥のN, P溶出速度の季節変化を示したものである。また図Ⅲ 2-3 3は宇部地先海域の6~7点の底泥のN, P溶出速度および酸素消費性の平均値について季節変化を示したものである。

N溶出速度  $r_N$  とP溶出速度  $r_P$  の季節変化形状は若干特徴を異にしており

i)  $r_N$ の方が $r_P$ よりも変化が緩やかである。 ii)  $r_P$ は冬季にはほとんど0に近く、7~9月に顕著な溶出を示す。 iii) 溶出の最大を示す時期は $r_P$ よりも $r_N$ の方が秋の方にあずれている。



図Ⅲ 2-32 岐波 (丸尾漁港) 泥のN, P溶出速度季節変化



図Ⅲ 2-33 宇部海域底泥のN, P溶出速度季節変化

### 2・3・5 水、底泥間におけるNの挙動シミュレーション<sup>5)</sup>

Pの溶出については、酸化層の消長に伴う、脱・吸着の現象を未だ定量化するには至っていないので、本章ではNについて、水・底泥間の挙動の季節変化を数値計算により、再現することを試みた。

(1) モデルの概要 これまでの知見からNの溶出は

- i) 有機Nの分解無機化による間げき水中への $\text{NH}_4\text{-N}$ の生成
- ii) 間げき水層と粘土表面を主体とした補給層の間の吸脱着
- iii) 間げき水中の濃度勾配による拡散輸送

の3つの局面に分けられると思われるが、このうちii)はNの場合、補給平衡が単純で、速やかに達成されることから、補給層は間げき水と一体のものとして考慮しないこととし、有機Nの分解と間げき水中での拡散を柱とした溶出モデルを考える。

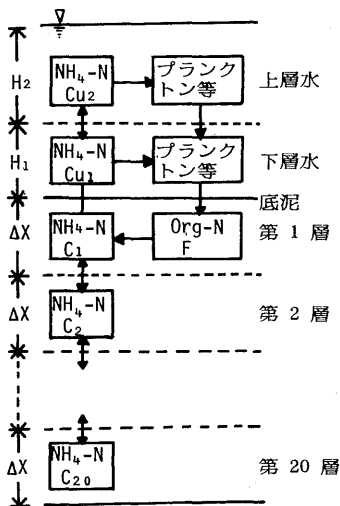
さらに季節変化パターンを再現するためには、上層水からの有機Nの沈降による補給を組み込む必要がある。

モデルは図Ⅲ 2-34に示すようであり、水深5mの海水層と泥深20cmの底泥層からなり、海水層は2層（下層1m，上層4m），底泥層は1cmごとに20層に分割した。各ボックス内は完全混合とし、海水層への水平方向の移流・拡散および大気との交換は考えず、また底泥についても沿直方向のみの移動を考えた全体として閉じた系である。

なお、底泥中の有機物の分解は底泥第1層のみで起るものとした。

## (2) 基礎式

基礎式は以下に示すとおりである。



図Ⅲ 2-34 底泥水柱モデル

### 基礎式

$$\text{上層水) } \frac{dCu_2}{dt} = -b_2Cu_2 + \frac{Du}{0.5H \cdot H_2}(Cu_1 - Cu_2) \quad \text{----- (37)}$$

$$\text{下層水) } \frac{dCu_1}{dt} = \frac{H_2}{H_1}b_2Cu_2 - b_1Cu_1 + \frac{\lambda D}{0.5\Delta X \cdot H_1}(C_1 - Cu_1) - \frac{Du}{0.5H \cdot H_1}(Cu_1 - Cu_2) \quad \text{----- (38)}$$

$$\text{底泥第1層) } \frac{dF}{dt} = -KF + \frac{H_1b_1}{\lambda\Delta X}Cu_1 \quad \text{----- (39)}$$

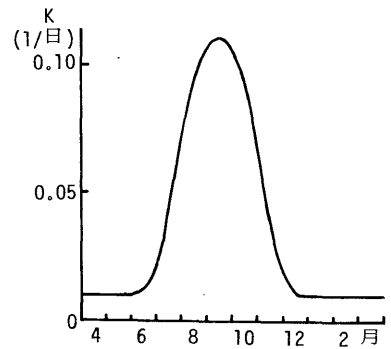
$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{D}{\Delta X} \left( \frac{C_2 - C_1}{\Delta X} - \frac{C_1 - Cu_1}{0.5\Delta X} \right) + KF \quad \text{----- (40)}$$

$$\text{第}i\text{層) } \frac{dC_i}{dt} = \frac{D}{\Delta X} \left( \frac{C_{i-1} - C_i}{\Delta X} - \frac{C_i - C_{i+1}}{\Delta X} \right) \quad \text{----- (41)}$$

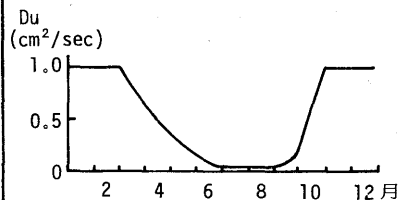
$$\text{第20層) } \frac{dC_{20}}{dt} = -\frac{D}{\Delta X} \left( \frac{C_{20} - C_{19}}{\Delta X} \right) \quad \text{----- (42)}$$

表Ⅲ2-10 水・底泥間のN挙動シミュレーションのための諸係数

諸 元	記 号	設 定 値	単 位	
底泥内拡散係数	D	$0.5 \times 10^{-5}$	cm <sup>2</sup> /sec	D=DM/u
間 げ き 率	λ	0.78	1/日	
沈降速度定数	b <sub>1</sub>	0.05	1/日	$b = \frac{\omega}{H} \left( \frac{ssN}{N} \right)$
	b <sub>2</sub>	0.025	1/日	
ss N の沈降速度	ω	15,30	cm/日	
海水層の厚さ 下層	H <sub>1</sub>	100	cm	
上層	H <sub>2</sub>	400	cm	
下層海水の NH <sub>4</sub> -N 初期値	Cu <sub>1</sub>	2.0	μg/cm <sup>3</sup>	} 間 げ き 水 あ た り
上層海水の NH <sub>4</sub> -N 初期値	Cu <sub>2</sub>	0.5	μg/cm <sup>3</sup>	
間 げ き 水 の NH <sub>4</sub> -N 初期値	C <sub>1</sub> ~C <sub>20</sub>	10	μg/cm <sup>3</sup>	
未分解 Org N 初期値	F	150	μg/cm <sup>3</sup>	
F の分解速度定数	K	0.01~0.11	1/日	図Ⅲ 2-35
海水2層間の鉛直混合係数	Du	1.0~0.05	cm <sup>2</sup> /sec	図Ⅲ 2-36
時 間 き ざ み	Δt	1.0	日	



図Ⅲ 2-35 Kの季節変化



図Ⅲ 2-36 Duの季節変化

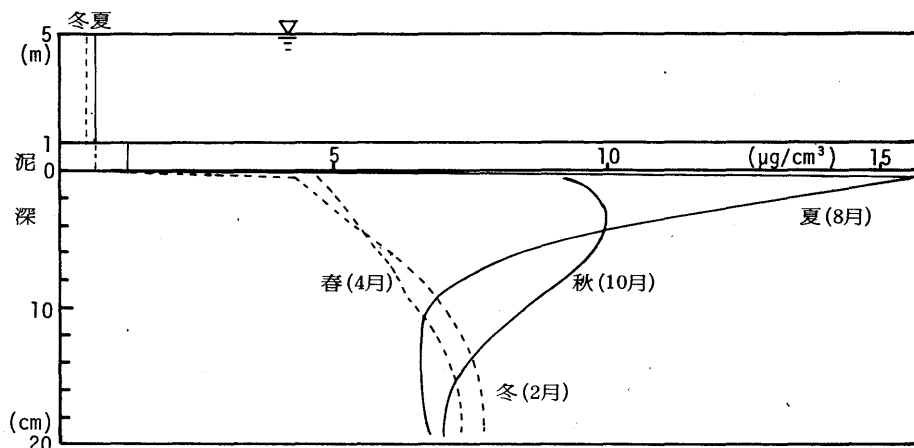
### (3) 諸係数および計算条件

諸係数および計算条件を表Ⅲ 2-10 にまとめている。表層泥における F の分解速度定数 K および鉛直混合係数  $D_u$  の季節変化は図Ⅲ 2-34 , 図Ⅲ 2-35 のように与えた。

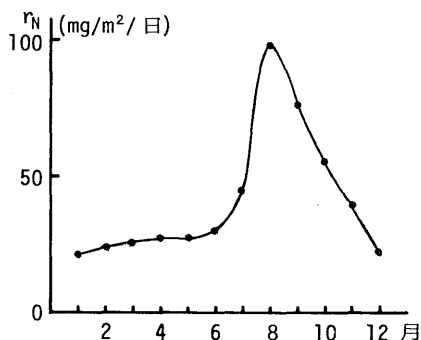
### (4) 計算結果

上述の基礎式を半陰形式で表現した連立方程式とし、 $\Delta x = 1 \text{ cm}$ ,  $\Delta t = 1 \text{ 日}$  の条件で上記の諸係数を用いて、数値計算を行った。その結果は 3 年目から 1 年を周期とした定常解が得られた。

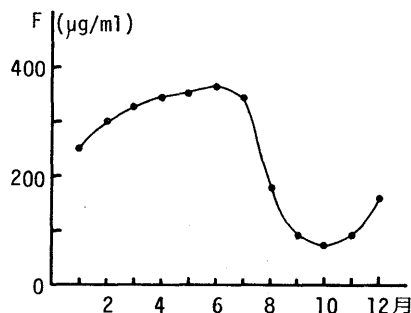
図Ⅲ 2-37 に、各季節の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度分布の計算値を示した。図Ⅲ 2-36 には、 $\text{NH}_4\text{-N}$  溶出速度の季節変化形状を示した。図Ⅲ 2-39 は、F の季節変化の計算値を、それぞれ示したものである。これらの結果は先に図Ⅲ 2-25, 29, 32 で示したような変化とほぼ同様な傾向を示しており、したがって、水、底泥間の N の挙動の季節変化は、表層泥における F の分解速度定数と上層水の鉛直混合係数の季節変化を与えることによって本質的に再現しうることが確認されたといえることができる。



図Ⅲ2-37  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度分布 (計算値)



図Ⅲ 2-38 N 溶出速度 (計算値)



図Ⅲ 2-39 F (未分解有機N) の季節変化 (計算値)

## 2・4 富栄養水域における底質評価のまとめ

本章では、冒頭にも述べたように、底泥からのN、P溶出量の推定ということに主眼をおいた研究を行ってきた。これまでの研究から、一般的な沿岸海域底泥からのN、Pの再生・回帰の大略を把握でき、とくにNについてはかなりのところまで、実態を定量的に明らかにできたと考えられる。

なお研究目的の⑤に掲げた底質予測を組み込んだ水質予測方法に関しては、説明の都合上、後の3・4・4節において述べる。

参考までに、表Ⅲ2-1に室内実験による底泥コアの溶出速度測定データをまとめた。これらのデータはほとんどすべて先に検討した方法により測定されている。夏季でいえば汚濁度の大きい海域では $r_N$   $100\text{ mg/m}^2/\text{日}$ 、 $r_P$   $10\sim20\text{ mg/m}^2/\text{日}$ を越えるが、冬季にはかなり小さくなり、とくに $r_P$ では溶出しない地点も多くみられる。溶出負荷は陸上からの流入負荷のNでは5～60%、Pでは1～20%を占め、夏季にその割合は高い傾向がある。

富栄養水域の底質評価のための今後の課題としては、次のような点が挙げられる。

① Pの溶出におよぼす酸化層の消長の影響を定量的に明らかにして、水・底泥間のPの挙動シミュレーションを行う。

② 2・8・3で述べた方法を発展させて、過去の水質が現在の底質に反映することを考慮した、長期的な時間スケールでの底質予測を行う。（一部後述する。）

③ 浮泥あるいは底泥微粒子のまきあがり在水質に及ぼす影響の評価ならびに、風などの攪乱による、急激であるが一時的な影響の評価を行う。

表Ⅲ2-1 N、P 溶出速度実測値の地域別比較

		$r_0$	$r_N$	$r_P$	地点数 n	
宇部沖	'77~'78	510	85	6.9	7	四季平均 本研究
徳山湾	'77	470	38	4.0	3	夏、秋
宇部周辺	'75~'77		194	36	7	夏
魚港	〃		86	10		秋
	〃		75	7.4		冬
周防灘	'79.7~8	310	23	3.3	40	夏
西部	'80.3	170	8	tr	34	冬
山口湾	'81.8	640	34	3.8	6	夏
	'81.3	220	4	tr	3	冬
東京湾	'76.9	1,800	150	24	11	14) 新日本気象
大阪湾	'76.10	800	38	23	5	15) 海洋
博多湾	'81.8		76	5.0	27	夏
	'81.3		11	0.8	27	冬 九州環境 管理協会

( $\text{mg/m}^2/\text{日}$ )

### Ⅲ - 3 富栄養水域におけるCOD内部生産の評価

#### 3・1 水質予測における内部生産評価の意義

従来行われている水質予測では、CODを保存物質として計算することが一般的であったが、COD対策が一応の成果を収め、低濃度広域型の汚濁に移行してきたことを反映して、植物プランクトンによるCODの内部生産を考慮しなければ、COD濃度分布の再現は困難となってきた。したがって、NやPが植物プランクトンによって、どの程度、CODに変換され、それがCOD濃度分布にどのように寄与しているのかを明らかにすることは、底質の評価とともに、富栄養水域の水質予測にとって非常に重要である。またい

うまでもなく、植物プランクトンによる有機物の生産は生態系サイクルの出発点であり、その定量評価は生態学の立場からも非常に重要である。

本章では、内部生産の評価方法として、簡便な $\Delta$ COD法と<sup>1)</sup>生産関数法を提案し、併せて、従来の方法に改良を加えた実用性の高い内部生産速度測定方法について述べる。

#### 3・2 研究目的および方法

本章の研究目的は i) 植物プランクトンに係る、N、P、COD、TOD等の間の量論的な関係を明らかにする。 ii) COD内部生産速度の実用的な測定方法を確立する。 iii) COD内部生産を評価し、あるいは水質予測モデルに組み入れる方法を明らかにすることである。このために行った研究方法の概略は以下に示すとおりである。

i) 植物プランクトンを培養して、CODの増加を確認し、N、P等の分析を行って、これらの量論的な関係について検討し、相互の換算係数を求める。

ii) 公共用水域の水質監視データを収集して、後述する $\Delta$ COD、変換率を試算し、 $\Delta$ COD法の実用性を検討する。

iii) 明暗ビン、酸素測定法によるCOD内部生産速度について検討を行い、簡便かつ実用的な方法を確立する。

iv) この方法によって得られた生産速度と水中のN、P濃度を対応させて、両者の関係を生産関数として表現する。

表Ⅲ3-1 植物プランクトンのN、P含量の特性

変動要因	N	P
種による違い	一部を除いてあまりない	大きい
プランクトンの培養令による違い	あまりない	かなり差がある
温度	高い方がN含量がやや小さい	
栄養塩レベル	高濃度で過剰摂取がある	普通に過剰摂取がある

#### 3・3 研究結果

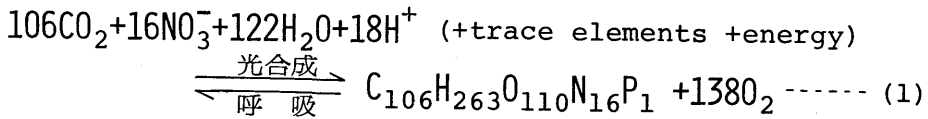
##### 3・3・1 換算係数に関する検討

(1) 植物プランクトンの平均組成

海洋植物プランクトンの平均組成は<sup>2)</sup>Stumm<sup>2)</sup>によると $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$ である。もちろんプランクトンの種類、

培養条件その他の違いにより、これらの組織は変動するものであろうが、N、P含量について一般的な傾向をまとめてみると、表Ⅲ 3-1のごとくになる。

Stumm<sup>2)</sup>にしたがえば、植物プランクトンの光合成及び呼吸は次式で表現される。



すなわち、N 1 mgが植物プランクトンに取り込まれれば、19.7 mgのTODが生産されたことになり、同様にP 1 mgはTOD 143 mgに相当することになる。

## (2) 沿岸海域の植物プランクトンの培養と換算係数

上の式(1)の組成はどちらかといえば外洋の植物プランクトンについて適用されてきたものであり、富栄養化の著しい沿岸海域のそれについても通用するかどうかを確認するために以下のような検討を行った。

① 分析試料の調製 換算計数を求めるための試料として、底泥コアと培養槽をくみ合せた図Ⅲ 3-1に示すような培養装置を作り、室内でプランクトンを含有した海水を調製した。できるだけ、自然状態に近づけるために、プランクトンの種源、栄養源として、新鮮な底泥コアを用いた。培養槽は4,000～6,000 lxで、昼光色蛍光灯24時間連続照射した。海水は給水タンクにおいて、空気あるいは窒素曝気し、半連続的に通水した。底泥コアと培養槽は水槽に収め18℃又は28℃の条件とした。

分析試料はこの培養槽流出液か、あるいはさらにこれを種として、TN 0.1～0.2 mg/lとなるようにし尿処理水、下水処理水、底泥振とう水などを添加した海水に接種して回分培養したものを用いた。

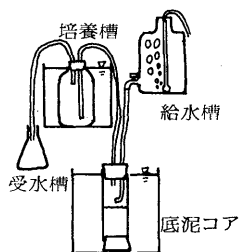
② 分析方法 添字ssを付したものは、ワットマンGFCで濾過し、少量の蒸留水で洗ったのちのSS分についての分析値であり、一方solの添字は洗液を合わさぬ濾液についての分析値である。CODalはN/40、30分間沸とう水浴中加熱、ヨード滴定法によるものであり、CODcrは硫酸銀は用いるが硫酸水銀は用いない重クロム酸カリ法である。

③ 実験結果 主要な指標間に直線的な関係を仮定して、最小自乗法による傾きと、個々の比率の平均値を表Ⅲ 3-2にまとめて示した。

i) TOD, N, Pの量論的關係 表中式(2)より、植物プランクトンのCODcr/Nは17.5、CODcr/Pは131である。式(1)よりTOD/N、TOD/Pを19.7、143とすると、CODcrの酸化率はNより89%、Pより92%となり、これらの値すなわちTOD/N=19.7、TOD/P=143を沿岸海域の植物プランクトンにも通用する標準的な換

算係数とみてもよいと考えられる。

ii) CODとTODの換算係数 式(1)より $TOD/TOC=3.47$ であるので、 $TOC$ と $COD$ の比率がわかれば、 $TOD/COD$ の換算係数が求まる。また同様に、 $TOD/BOD$ や $TOD/COD_{al}$ の関係も求まることになる。 $TOC$ と $COD$ の比率は、植物プランクトンの培養令等により異なるようであり、培養液全体でみるならば、培養後期に溶解成分が増加すると、 $TOC/COD$ の比率は低下し、したがって $TOD/COD$ の換算係数は小さくなる。 $POC/ss\ COD=1$ のデータもみられ、また表中式(5)  $ss\ COD_{cr}/ss\ COD=2.63$ であることなどから判断すると、 $TOD/COD$ の換算係数としてはおそらく3前後の値を考えればよい。確定的なことをいうためには、さらに、 $TOC/COD$ のデータを蓄積して検討する必要があるが、以後一応3.0を用いて論を進める。



図Ⅲ3-1 植物プランクトン培養装置

表Ⅲ3-2 植物プランクトン培養海水のCOD等換算係数

n	分析項目		最小自乗法	比率の平均			式NO
	Y	X		Y/X	Y/X	変動係数%	
15	ssCOD <sub>cr</sub>	ssN	0.96	17.5	21.5	45	2
23	ssCOD <sub>cr</sub>	ssP	0.84	131	129	48	3
24	ssCOD <sub>cr</sub>	ssCOD <sub>al</sub>	0.94	4.50	4.45	29	4
9	ssCOD <sub>cr</sub>	ssCOD	0.99	2.63	2.65	25	5
25	ssCOD	ssCOD <sub>al</sub>	0.96	2.08	1.81	28	6
25	COD	COD <sub>al</sub>	0.91	1.71	1.72	24	7
15	COD	BOD <sub>5</sub>	0.81	1.76	1.81	31	8
10	COD	BOD <sub>10</sub>	0.98	1.42	1.57	17	9
15	COD <sub>al</sub>	BOD <sub>5</sub>	0.72	1.07	1.13	32	10
10	COD <sub>al</sub>	BOD <sub>10</sub>	0.78	0.78	0.79	18	11

### 3.3.2 ▲COD法について

(1) △CODの定義 図Ⅲ3-2は徳山湾の6定点について4年間月1回の水質調査を行った結果から、BOD、DO、透明度等の季節変化の一部を示したものであるが、各点とも、6～8月の夏季に透明度の低下とBODの増大を示し、底層水のDOは8～9月に最小値を示している。富栄養水域におけるこのような水質季節変化の特徴に着目して、△CODを以下のように定義する。

$$\Delta COD = \overline{COD} - COD_{min} \quad \overline{COD} : COD \text{ 年平均值 } (mg/l)$$

$$\dots\dots\dots (12) \quad COD_{min} : COD \text{ 最小値 } (mg/l)$$

もし冬場において内部生産が0で、CODの季節変化が光合成活動だけによるものであれば、△CODは1年間を通じて、植物プランクトンの生産がどれほどCOD値を高めているかを示すことになる。実際には冬場でも生産がいくらかあり、また陸上からのCOD負荷も季節変化があるはずであるから、より厳密には

$$\Delta COD = COD - COD_{base} \quad \dots\dots\dots (13) \quad COD : \text{測定値ごとのCOD} (mg/l)$$

$$COD_{base} = COD_L + COD_o \quad COD_L : \text{陸上からのCOD負荷由来のCOD} (mg/l)$$

として、その時々△CODを定義することができる。COD<sub>o</sub> : バックグランド濃度

## (2) 変換率

N, Pからの $\triangle COD$ への変換率は次式で表わされる。

$$\alpha_N = \frac{\triangle TOD}{TOD_N} = \frac{\triangle COD \times \text{換算係数}}{TN \times 19.7} \dots\dots\dots (14) \quad TN: \text{水中のTN濃度} \quad (mg/\ell)$$

$$\alpha_P = \frac{\triangle TOD}{TOD_P} = \frac{\triangle COD \times \text{換算係数}}{TP \times 143} \dots\dots\dots (15) \quad TP: \text{水中のTP濃度} \quad (mg/\ell)$$

上式で $\alpha_N, \alpha_P$ が1であれば、(水中のNあるいはPがちょうど1回、植物プランクトンに利用されて生産されるTODに相当するだけ、内部生産由来のCODが存在することを示している) 先述のように、換算係数の設定が困難な場合は

$$\alpha'_N = \triangle COD / TN \dots\dots\dots (16) \quad \alpha'_P = \triangle COD / TP \dots\dots\dots (17) \text{ の変換率を用いてもよい。}$$

変換率は滞留度、プランクトンの増殖促進因子、光、温度等の関数である。

## (3) $\triangle COD$ および変換率の計算例

①  $\triangle COD$  各府県の水質監視データ<sup>3), 4), 5), 6)</sup>より、 $\triangle COD$ を計算した例を表Ⅲ3-3に示す。東京湾や大阪湾、霞ヶ浦や諏訪湖などで、高い値を示しており、富栄養化の程度とよく一致している。

② 変換率 昭和52年度の兵庫県の水質監視データ<sup>8)</sup>より、 $TOD/COD=3$ として、変換率 $\alpha_N, \alpha_P$ を試算した結果は表Ⅲ3-4に示すとおりであり、

i) 環境基準A海域からC海域へと汚れるにつれて、変換率は若干低下の傾向がある。

ii) 概ね、P制限型の地点が多いが、一部分ではN制限型の地点もみられる。

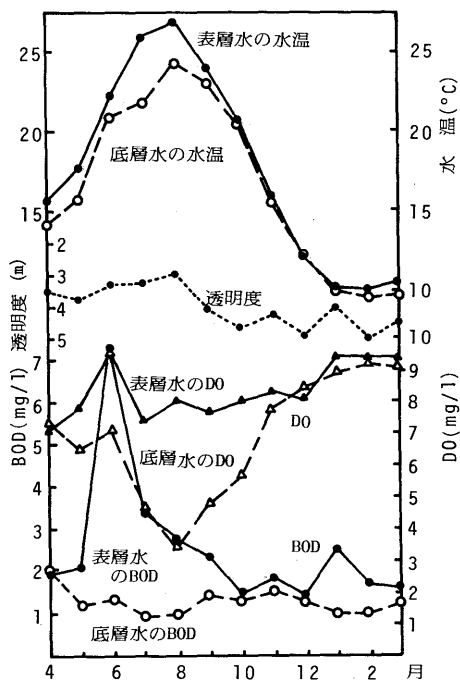
③ 変換率とN, P濃度レベルの関係 図Ⅲ3-3は、兵庫県のデータより $TOD_N$ か $TOD_P$ のどちらか小さい方と $\alpha_N, \alpha_P$ のどちらか大きい方の間の関係を両対数紙に散布したものである。概ねN, P濃度が高くなれば変換率は低下する傾向がある。とくにプランクトンの増殖がN, P濃度に依存しなくなる高濃度域においては、理論的に変換率はN, P濃度に反比例する関係が得られる。

④  $\triangle COD$ と変換率の季節変化 先述の徳山湾定点水質調査の表層水中のBODおよびTPのデータから、 $\alpha_P$ を求めてその季節変化を図Ⅲ3-4に示した。BODからTODへの換算は、徳山湾の場合BODが比較的高くであることを考慮して、 $TOD/BOD=3$ とみて計算している。また図は三項移動平均として季節変化を表わしたもので、2地点の計算結果を示している。これらより変換率 $\alpha_P$ は6, 7, 8月の夏季に顕著なピークを示しており、各月の値では、最高540%もの変換率がみられている。夏季にはTP濃度自体も高くなるので、相乗されて $\triangle COD$ はかなり大きいものとなる。

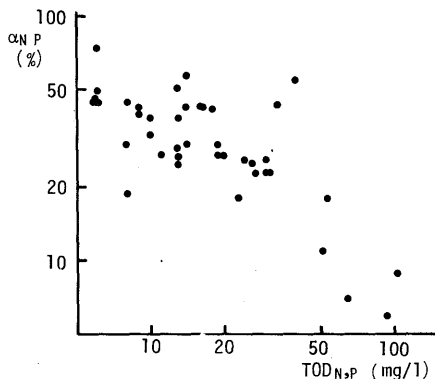
## (4) 植物プランクトンの培養令とP変換率の変化

現場におけるP変換率が100%を大きく越える原因を明確にするために、次のような

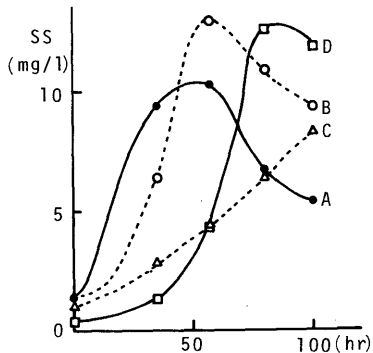




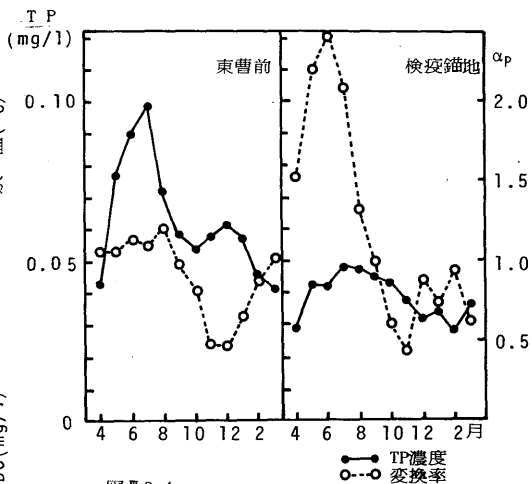
図Ⅲ3-2 検査箇地の水質季節変化 実線 表層水 (昭和46~49年度4年間の平均) 破線 底層水



図Ⅲ3-3 N, P 濃度レベルと交換率の関係



図Ⅲ3-5培養経過にともなうSSの変化



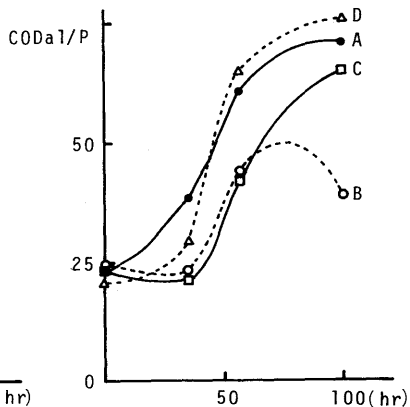
図Ⅲ3-4 徳山湾定点の T P 濃度と交換率  $\alpha_p$  の季節変化 (表層水) 昭和46~49年度4年間の平均値の三項平均

表Ⅲ3-3 各水域の  $\Delta$  COD

	n	$\Delta$ COD		備 考
		最大値	平均値	
東京湾	55	6.4	3.1	9) 昭和48年度12~24回/年
伊勢湾	10	2.9	1.6	9) 23~50回/年
三河湾	17	4.2	2.3	9) 24回/年
大阪湾	42	7.1	1.9	10) 昭和52年度12回/年
琵琶湖	23	1.5	0.5	11) 昭和47年度 4回/年
霞ヶ浦	19	7.0	3.3	12) 昭和47年度12回/年
諏訪湖	14	3.8	2.1	13) 昭和47年度12回/年

表Ⅲ3-4 交換率の試算例

		$\Delta$ COD		交換率平均値		N制限の地点 数割合
		最大値	平均値	$\alpha_N$	$\alpha_P$	
大阪湾	A	1.5	1.0	32	39	3/9
	B	2.3	1.4	30	33	2/6
	C	7.1	2.3	26	30	5/27
播磨灘	A	1.4	0.9	24	38	0/15
	B	1.4	0.8	19	31	0/6
	C	2.3	1.1	16	24	2/10



図Ⅲ3-6培養経過にともなうCODal/Pの変化

実験を行った。

下水処理場放流水を栄養源として、 $N\ 1.1\ mg/\ell$ 、 $P\ 0.12\ mg/\ell$ とした海水に、4種類のプランクトンを接種して培養し、経時的に  $COD_{al}/TP$  の比率を測定した。

SSの経時変化を図Ⅲ3-5に、 $COD_{al}/TP$ の経時変化を図Ⅲ3-6に示す。表Ⅲ3-5は  $TOD/COD_{al} = 5$  として、培養初発時からの  $COD_{al}$  の増加量から  $\alpha_p$  を、培養液全体とSS部分について計算したものである。これらより

- i) 植物プランクトンの増殖に伴ってCODは増大する。
- ii) SS部分のCODは概ね濁度に比例的な関係にあるが、培養液全体のCODは濁度が減衰期になって低下してきても、増大する傾向がみられる。
- iii)  $ss\ COD/ss\ P$  が経時的に増加することからみて、プランクトンのP含量はおそらく、増殖初期はぜいたくな過剰摂取が行われて高いが、培養経過に伴って、徐々に低下すると考えられる。

iv) Pの変換率は未汙水についてみれば、経時的に増加して100時間後には最高380%にも達するものがみられる。しかし、SS部分についての変換率は最高130%とあまり大きくはならない。

このようなことから、現場海水でも夏季、変換率が100%を大きく越える原因は、NやPが何度も再循環して植物プランクトンに利用され、体外あるいは海水中にCOD成分を排出し、蓄積していくことにあると考えられる。

表Ⅲ3-5 変換率の経時変化

		hr			
		0	35	57	100
$\frac{\Delta TOD}{TOD_p}$ (%)	A	0	39	150	380
	B	0	0	97	100
	C	0	41	180	240
	D	0	0	79	290
$\frac{\Delta TOD_{ss}}{TOD_p}$ (%)	A	0	50	61	130
	B	0	40	110	71
	C	0	35	81	85
	D	0	12	79	120

(5)  $\triangle COD$ 法の実用性について

$\triangle COD$ 、変換率は現状の水質データから求めることができるので、変換率が場所的な定数として与えられるならば、N、P濃度予測を行い、これに変換率を乗じて $\triangle COD$ を求めることにより、N、P負荷の削減によるCODの改善効果を算出することができる。

$\triangle COD$ 法は i) 理論が単純で、内部生産の概況が簡単に把握できること、ii)  $\triangle COD$ は生産期におけるCOD正味生産速度の時間積分値をみていることになり、時間的変動の大きい生産速度の評価に有利である、などの利点を有しているが、一方以下に挙げるような問題点があり、あまり厳密な水質予測モデルには適用しにくい。

i) 流入COD負荷の影響大なところでは、うまく適用できない。またある程度、富栄養化が進んでいないと、精度上問題がある。

ii) COD, BODのTODへの換算係数はかなり変動するようなので、実際に適用するにあたっては、この点についての検討を要する。

iii) 冬期のCOD生産量を0とすることは、内部生産の過小評価になる。また夏季のCOD baseをCOD minで代用することは、内部生産の過大評価になる。したがって、何らかの方法で、現場海水のCODを由来別に分別することが必要であるが、現在のところ、いずれの方法も決め手を欠いている。

iv) 変換率は $\Delta$ COD法においては、もっとも重要なパラメーターであるが、多くの因子が含まれており、関数化は困難である。水質データから算出されるので、現状の再現は可能であるが、将来予測のためには、この関数化が必要である。

$\Delta$ COD法は、水域の内部生産の概況を把握して、COD, N, P負荷削減対策の重みづけを行ったり、後述する生産関数法による水質予測の検証に利用すべき位置づけにあるものと考えられる。

### 3・3・3 COD内部生産速度の測定法

内部生産COD負荷と陸上からのCOD負荷を区別する確実な方法の一つは直接、内部生産速度を実測し、その値を用いて評価することである。生態学分野では一次生産量が数多く測定されてきているが、ここでは従来の方法の問題点を改良して、簡便に酸素生産速度を測定し、COD生産速度に換算する方法について述べる。

#### (1) 一次生産量の測定方法と沿岸海域における一次生産量報告例

① 一次生産量測定方法 一次生産量には、体積あたりの表現と、水深方向を積分した面積あたりの表現があり、またプランクトンの呼吸を差しひいた純生産と差しひかない総生産の表現がある。通常、面積あたり1日の純生産量が一次生産量として用いられる。

測定方法としては、現場法、擬似現場法、タンク法があり、現場法では水深方向に通常3点以上から水を取り、これを明びん、暗びんにつめて採水した水深につり下げ、適当な時間光合成を行わせ、日照時間を考慮して日量に換算する。現場法が困難な場合には、室内において人工照明により光合成を行わせるタンク法もよく用いられるが、簡便性と現場に近い条件という意味からは後述する擬似現場法が適している(155頁)。

またそれぞれの条件について、光合成の際に放出される $O_2$ を測定する溶存酸素法と、植物プランクトンによって取り込まれる $^{14}CO_2$ を測定する $^{14}C$ 法がある。前者は生産性の高い湖沼や内湾等で用いられ、後者は生産性の低い外洋などで主に用いられるが、最近では後者の方が一般によく用いられるようになってきている。

溶存酸素法による場合、総生産量、純生産量を次式で求める。すなわち、

$$\text{純生産速度} \quad V_n = \ell / x \quad (\text{g O}_2 / \text{m}^3 / \text{hr}) \quad \cdots \cdots (18)$$

$$\text{総生産速度} \quad V_g = (\ell + d) / x \quad (\text{ " }) \quad \cdots \cdots (19)$$

$$\text{酸素消費速度} \quad V_r = d / x \quad (\text{ " }) \quad \cdots \cdots (20)$$

ただし  $\ell$ ,  $d$  :  $x$  時間後の明びんの DO 増加量, 暗びんの DO 減少量 ( $\text{g O}_2 / \text{m}^3$ )

通常,  $x$  に日の出から正午まで,あるいは正午から日没までの時間を取り, 日量としては得られた値を 2 倍する方法がとられている。

一方  $^{14}\text{C}$  法では  $^{14}\text{CO}_2$  のプランクトンによる取り込みを測定するので, 一旦取り込まれたのち, グリコール酸などの形で排出される分は考慮されないが, 一応, 純生産量に近いものと考えてよい。

## ② 沿岸海域における一次生産量の報告例

i) 沿岸海域における一次生産量の本格的な調査として最初のもは 1962~63 年に松平らによって行われた。<sup>9)</sup>  $^{14}\text{C}$  法の一次生産量で, 夏季は  $1.9 \text{ g C} / \text{m}^2 / \text{日}$ , 冬季は  $0.1 \sim 0.3 \text{ g C} / \text{m}^2 / \text{日}$  程度の値を示すところが多く, 全般に季節変化が著しいことが示されている。TOD / COD = 3 を採用すれば TOC / COD = 0.86 であり, 上記の値に 0.86 倍すれば, COD の面積あたりの内部生産量となる。

ii) 遠藤は瀬戸内海の一次生産量について詳細な調査を行い, 瀬戸内海の平均的な一次生産量(純生産)として,  $0.33 \text{ g C} / \text{m}^2 / \text{日}$  程度と推定している。<sup>10)</sup> これに瀬戸内海全海面面積約 2 万  $\text{km}^2$  を乗じ, 上述の比率で COD 生産量に換算すると 5,700 t / 日となり, 陸上からの負荷, 約 1,000 t / 日と比べて, 全く同じ尺度では比較できないにしても, 非常に大きいものであることがわかる。

iii) 徳山湾の赤潮発生時の光合成量(純生産)は平常時  $0.07 \sim 0.08 \text{ g C} / \text{m}^3 / \text{日}$ , 透明度 1~3 m の小規模赤潮時,  $0.2 \sim 0.5 \text{ g C} / \text{m}^3 / \text{日}$ , 透明度 1 m 以下の大規模赤潮時  $1.0 \sim 2.7 \text{ g C} / \text{m}^3 / \text{日}$  であったと報告されている。<sup>11)</sup> また先述の松平らの調査によれば東京湾奥部の夏季の一次生産量は  $3 \text{ g C} / \text{m}^2 / \text{日}$  を越えている。

## (2) 水質管理指標としての一次生産速度の測定方法

① 従来の一次生産量測定上の問題点　ここで, 一次生産量のデータを水質管理指標として利用する立場から, 従来の一次生産量測定方法の問題点を挙げると,

i) まず従来の方法では, 反応時間を昼間のみに限っており, 純生産の評価として, 植物プランクトンが光合成している時間内の呼吸分は差しひくが, 増殖したプランクトンの夜間の呼吸はみおとされている点がある。

ii) 光合成時間のとり方が, 日出から正午まで, 正午から日没まで, 早朝から日没までなど, あいまいであり実用的でない。明暗びんの DO 経時変化は直線的なものではないの

で、変化量を日量にひきのばす際に誤差が伴う。

iii) 現場法や擬似現場法はより直接的な情報を与えるので望ましい方法であるが、光、温度条件が気象まかせであり、また水中の植物プランクトンの状態によって、得られるデータの変動性は非常に大きい。そのために、水質シミュレーションに要する平均的な係数を得るためには、相当、測定頻度をあげる必要がある。

## ② 一次生産量測定方法の検討

i) 光合成時間のとり方 宇部港棧橋の表層海水について、明暗びん擬似現場法で、溶存酸素法による光合成量を測定した結果を図Ⅲ 3-7に示している。

光合成開始当初において誘導期間がみられること、日没後にもなおDOの増加がみられること、夜間のDOの減少が暗びんよりも明びんにおいて大きいことから、光合成時間のとり方によって、一次生産量のみつものに相当誤差が生じることは明らかである。

たとえば、図Ⅲ 3-8は常盤湖中央部において、昭和50年7月22日から23日にかけて、現場法で光合成時間を朝から夕方までと、朝から次の日の朝までとし、一次生産量を求めた結果である。夕方までの純生産は第3層まで正の値を示すのに、翌朝までおくと第2層めから負の値に転じており、光合成時間のとり方によって非常に状況が異なってくる。

表Ⅲ 3-6は明暗びんのDO変化のデータから酸素総生産量や酸素消費量の日量を算出する方法をまとめたものである。従来はⅡの方法あるいは実際的にはⅢの方法が行われている。Ⅲの方法ではⅡの総生産量  $l_2 + d_2$  を  $l_1 + d_1$  から時間比例的に日照時間に対してひきのばして推定し、 $d_3$  は  $d_1$  より24時間にひきのばしたもので代用する。

水質管理の立場からみると、明びん暗びんとも24時間においてDO変化を測定するⅠの方法がもっとも合理的であると考えられる。

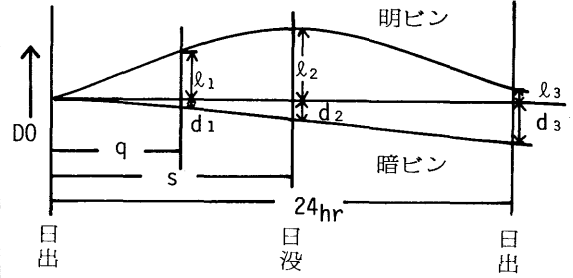
図Ⅲ 3-9は宇部港奥部の表層水について、昭和54年2月2日から9月7日まで  $n=65$  の  $Tr/2$  光条件による光合成量の測定を行った結果から、表Ⅲ 3-6のⅢの方法により算出した総生産速度、 $(l_1 + d_1) \cdot S/q$  とⅠの方法による総生産速度  $(l_3 + d_3)$  の比較を示したものである。

総生産速度については、Ⅲの方法による計算値の方が、Ⅰの方法による  $(l_3 + d_3)$  より大きく、1.5倍程度の値が得られている。これは先述のように、植物プランクトンの夜間の呼吸をⅢの方法では無視しているためである。Ⅰの方法では、昼間の光合成により生成した植物プランクトンと過飽和のDOを夜間そのまま閉じ込めるので、 $l_3$  はやや小さめに出る可能性もあるが、時間補正のあいまいさを考えれば、Ⅰの方法によるべきであると考えられる。

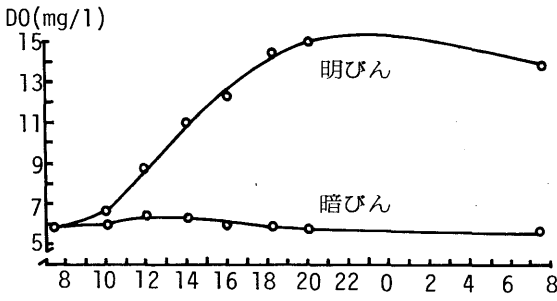
なお、夜間の呼吸の問題や、生産は有光層、呼吸は全層という場所的なずれもあること

表Ⅲ 3-6 1日あたりの生産量等算出方法の比較

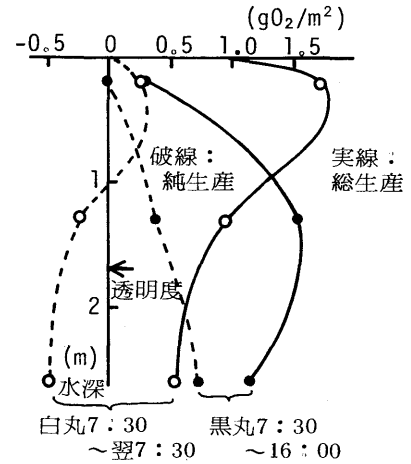
計算方法	酸素総生産速度 $V_g$ mg/l/日	酸素消費速度 $V_r$ mg/l/日	酸素純生産速度 $V_n$ mg/l/日
I	$\ell_3 + d_3$	$d_3$	$\ell_3$
II	$\ell_2 + d_2$	$d_2(24/s)$ s: 日照時間	$\ell_2 - d_2(24-s)/s$
III	$(\ell_1 + d_1)s/q$	$d_1(24/q)$ q: 光合成時間	$(\ell_1 + d_1)s/q - d_1(24/q)$



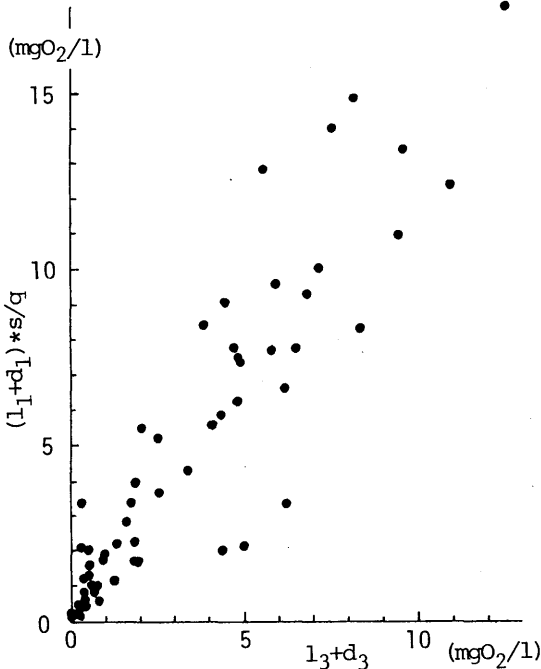
$\ell_1$ : 光合成時間後の明びんDO増加量 (mg/l)  
 $\ell_3$ : 24時間後の明びんのDO増加量 (mg/l)  
 $d_1$ : 光合成時間後の暗びんDO減少量 (mg/l)  
 $d_3$ : 24時間後の暗びんのDO減少量 (mg/l)



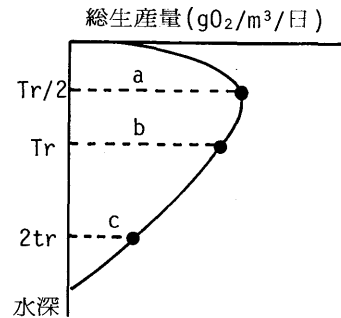
図Ⅲ 3-7 擬似現場法による光合成量の経時変化 (宇部港'75.8.4)



図Ⅲ 3-8 光合成時間のとり方による一次生産の違い (常盤湖 中央部現場法'75.7.22~23)



図Ⅲ 3-9 両法による総生産速度の比較



図Ⅲ 3-10 面積あたりの総生産量の算出

から、一次生産は総生産速度( $I_3 + d_3$ )と酸素消費速度( $d_3$ )に分けて考える方がよい。

ii) 擬似現場法における光条件 現場法が望ましいことは言うまでもないが、実際には船で何度も海にでることは困難で、簡便性の上からは擬似現場法によるのがよい。この場合の問題点は光合成時間のとり方の他、採水深度に合わせた光条件と温度条件の設定である。光量の調節は網戸用の網を適当に組み合わせ、透明度水深( $T_r$ )、透明度水深の2倍( $2T_r$ )に対する照度が表面照度の10%、1%さらに $T_r/2$ 水深に対しては32%となるように行った。冬季に行った実験では表面照度96,000 lxに対し、金網1枚では透過率54%で、なお著しい強光阻害を受け、20,000 lx程度から若干阻害の傾向がみられた。

③ 一次生産速度の簡易測定法 日常的な分析として、簡便に一次生産量を測定する方法をここでまとめておく。

i) 早朝に、 $T_r/2$ 、 $T_r$ 、 $2T_r$ の各水深より採水する。

ii) 実験室に持ち帰り、1試料について8本のDOびんにつめ、明暗びんを調整する。

iii)  $T_r/2$ 、 $T_r$ 、 $2T_r$ の試水に対して、それぞれ表面照度の32、10、1%となるように調節した一次生産用水槽に浸漬する。水槽内の水は少量ずつ入れ替えて温度を調節する。 iv) 初発時および24時間後にDOを測定する。

v) 表Ⅲ 3-6の方法Iにより、 $V_g$ 、 $V_n$ 、 $V_r$ を算出する。面積あたりの酸素総生産速度を算出するにあたっては、図Ⅲ 3-10に示すようなグラフから、たとえば次式により計算する。

$$Pr = (T_r/8) (5a + 6b + 4c) \dots\dots\dots (21)$$

ただし  $Pr$  : 面積あたりの酸素総生産速度 ( $g O_2 / m^2 / 日$ )     $T_r$  : 透明度 ( $m$ )

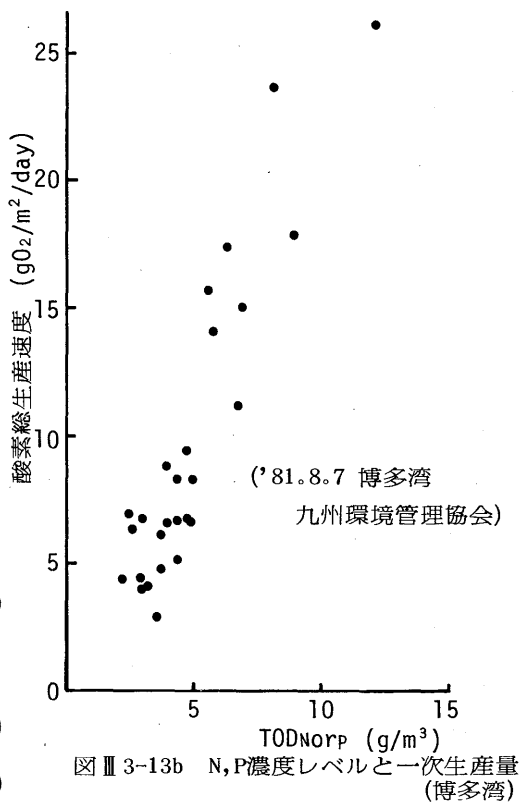
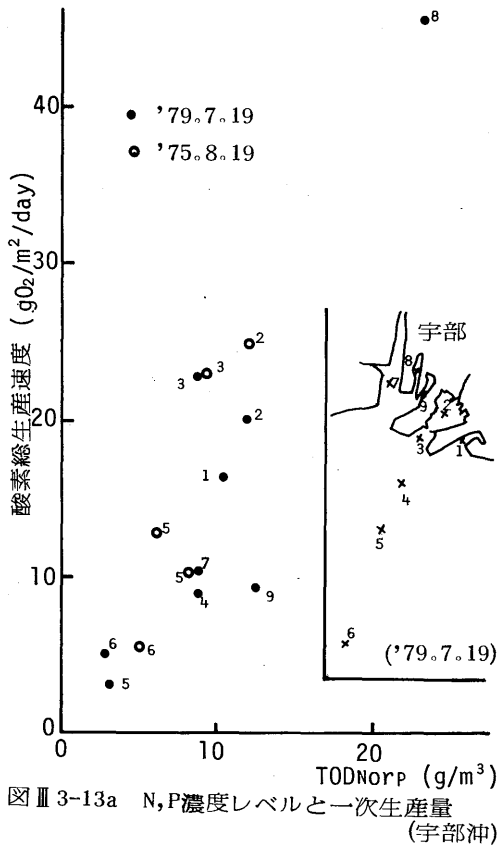
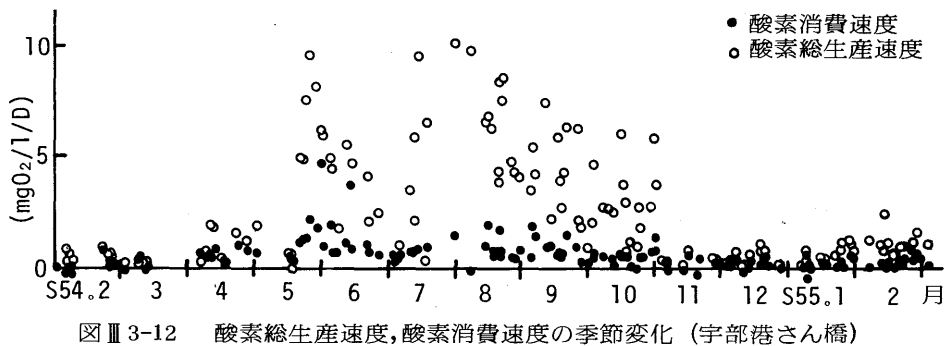
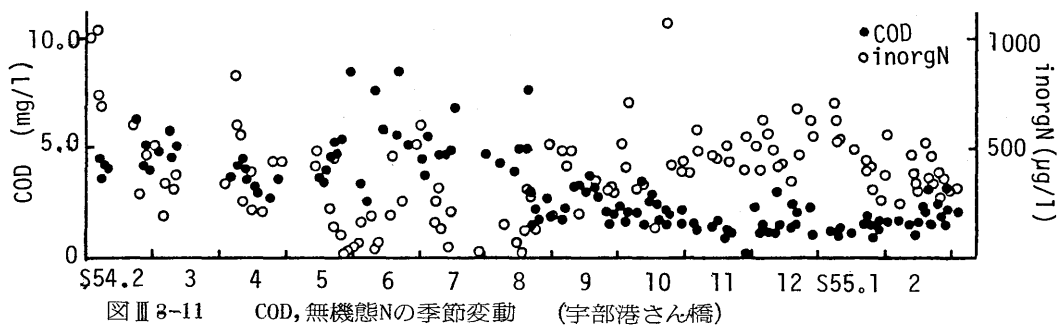
なお現実的には通常の水質調査の時間に合わせ、夕方から翌日の夕方まで光合成を行わせ、方法Iにより、 $V_g$ 、 $V_r$ を求める方法でも十分に意味のあるデータを得ることができる。その時々状況によって、もともと測定値の変動が大きいことを考えるならば、むしろできるだけ手軽に多くのデータをとれることが望ましい。

COD内部生産量への換算は、酸素総生産速度はTOD生産速度とみなしうるので、TOD/CODの換算係数が定まれば容易に行うことができる。

#### ④ 宇部港奥部における光合成の季節変化

昭和54年2月から約1年間、宇部港奥部の海上保安庁栈橋で光合成量の季節変化を調査した結果を次に示す。採水は午前9～10時で、表層水を実験室にもち帰り、 $T_r/2$ 水深の光条件の擬似現場法により、明暗びんのDO変化を測定した。

図Ⅲ 3-11にはCODと無機態Nの変動、図Ⅲ 3-12には、酸素総生産速度と酸素消費速度の変動を示した。採水地点は真締川河口付近にあり、工場排水の影響も受けるところで、水質変動の大きい場所である。採水頻度も一定していないので、あまりきれいな





季節変動を示すことはできないが、これらの結果より次のようなことがいえる。

- i) 生産は4月から10月に多く、とくに5月から9月の高温期に集中する。
- ii) 酸素消費は生産速度ほど季節変化が顕著でない。
- iii) Chl. a の変動はほぼ生産速度の変動と対応しているが、冬季の比生産速度は夏季に比較するとかなり小さい。
- iv) CODもChl. a や生産速度といくらか似た変動を示すが、無機態Nやリン酸性Pはこれらと逆相関の変動を示す。

### 3・3・4 生産関数(N, P濃度レベルとCOD内部生産速度)

N, P濃度と一次生産の関係は通常, N, Pを植物プランクトンに吸収されるものとしての無機態と植物プランクトンに取り込まれた形としての有機態に分け, 有機態N, Pの生産速度を無機態N, P濃度や光, 温度等の関数として表現していく, 厳密なモデルの方がむしろよく検討されている。著者はよりマクロな見方で, N, P濃度レベルと一次生産の関係を考え, 図Ⅲ 3-28に一例を示すごとく, TODN ( $19.7 \times \text{TN濃度}$ )とTODP ( $143 \times \text{TP濃度}$ )のどちらか小さい方と, 面積あたりの酸素総生産速度は夏季の富栄養水域においては, かなりよい直線関係がみられることを認めた。このようなデータから, COD生産速度を次式のような簡単な関数として表現できる。

$$\text{P制限因子のとき} \quad \phi c \text{ (g COD/m}^2\text{/日)} = a (143/3) \text{ TP} \quad \cdots \cdots (22)$$

$$\text{N制限因子のとき} \quad \phi c \text{ (g COD/m}^2\text{/日)} = a (19.7/3) \text{ TN} \quad \cdots \cdots (23)$$

ただし TN, TP: 水中のTN, TP濃度 ( $\text{g/m}^3$ ), a: 生産係数 ( $\text{m/日}$ ) であり,  $\text{TOD/COD} = 3$  の換算係数を用いている。N, Pのどちらが制限因子であるかは,  $\text{TN/TP}$  が  $143/19.7$  より大か小によって判定する。すなわち大なれば, Pが, 小なればNが制限因子である。aは季節によって変化し, 同じ季節でも植物プランクトンの状態によってある程度幅のある係数である。

### 3・4 富栄養水域における内部生産の評価まとめ

本章において得られた主要な成果は次のとおりである。

- i) 内部生産の概略評価法として,  $\Delta \text{COD}$ , 変換率という新しい考え方を提案した。
- ii) Stumm の植物プランクトン組成が富栄養化の進行した内湾においても原則的に適用することを確認した。
- iii) 内部生産測定方法として, 従来の方法を改善した簡易法を開発した。
- iv) 面積あたりのCOD内部生産速度を水中のTN, TP濃度の関数として表現しうることを示した。

### Ⅲ－４ 富栄養水域における水質シミュレーション

前２章においては、富栄養水域の水質予測の変化項として、二つの重要な要素である、底泥の２次汚濁と植物プランクトンによる有機物の内部生産について論じてきた。本章では、著者らの開発した比較的簡単なボックスモデルを中心に、底泥と内部生産を考慮した水質予測方法について述べる。

#### ４・１ ボックスモデル法の適用

水質シミュレーションにどのような方法を適用するかを考える際に、まず重要なことは再現しようとしている現象は何なのか、またその時間軸の大きさ、空間軸の大きさはどのようなものであるかという点である。

たとえば、赤潮プランクトンの消長予測を対象とするような場合には、時間の尺度を短く、空間の尺度もそれに応じて小さくとる必要がある。しかしながら、著者が再現したい現象は年平均水質か、せいぜい水質の季節変化の変動形状であり、時間の尺度はかなり長く、また空間の尺度もある程度大きくとってよい。

つまり、実際には図Ⅲ３－１２にその１例を示すように、植物プランクトンは日々かなり激しい変動をしているが、そのような変動をくりかえしながら、全体的には、夏場には生産が分解を上まわり、水域の有機物濃度は上昇し、冬場は逆にになって有機物濃度は低下する。

また本研究においては、水域場でN、Pの収支をとってみることによって、各項の整合性をみたり、数値実験的に未知の変化項を推定したりすることに主眼をおいているので、計算が簡単で、小まわりのきくボックスモデルが有効である。

次下に述べるボックスモデルによる水質シミュレーションの方法は表Ⅲ４－１に示す３つの方法である。

表Ⅲ４－１ ボックスモデルによる富栄養化水質予測

	モデルの特徴		
	内部生産	底泥からの溶出	目的
Δ COD 法 ボックス シミュレーション	TN , TP 濃度に変換率 $\alpha_N, \alpha_P$ を乗じて Δ COD を求め CODmin に加算する。	地域的な定数として与える。	N, P, COD 予測
生産関数法 ボックス シミュレーション	COD 生産速度を TN , TP 濃度の関数として与える。	同上	N, P, COD 予測
N ボックスモデル 水・底質予測法	Org-N の生産速度を $\text{NH}_4\text{-N}$ と Org-N 濃度の関数として与える。	底泥にもボックスを設ける。	N 予測のみ

△COD法ボックスシミュレーションは、泥からのN、P溶出速度を実測にもとづく、地域的な定数として与えたP、N、COD濃度予測であり、内部生産は△COD法で計算する。生産関数法ボックスシミュレーションは、同じく溶出速度は定数として与えたP、N、COD濃度予測で、内部生産はTN、TP濃度の関数として計算する。

Nボックスモデル水・底質予測法はⅢ2-9で述べた、水底泥コアのN挙動シミュレーションと、ボックスモデルを合わせた方法であり、水質予測とともに底質予測も行っており現実的な将来予測をするための一つの試みである。

なお3方法とも、徳山湾を対象として述べる。

#### 4・2 △COD法ボックスモデルシミュレーション<sup>1), 2)</sup>

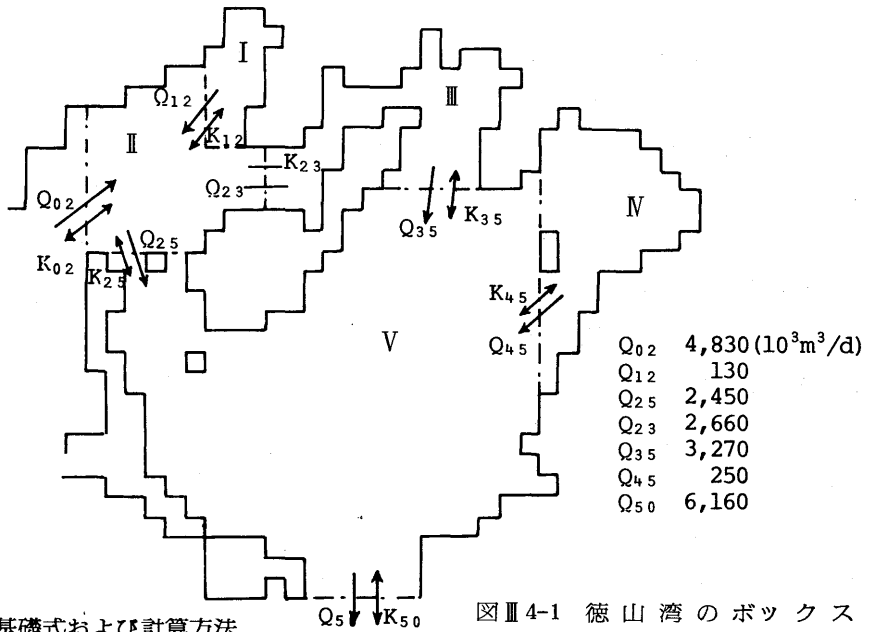
##### (1) ボックスの設定

図Ⅲ4-1に示すように、徳山湾を5つのボックスに分けた。計算の基礎とした、各ボックスの諸元を表Ⅲ4-2にまとめている。移流量 $Q_{ij}$ の値は昭和49年度に公害防止協会によって行われた流況シミュレーション<sup>3)</sup>の潮汐残査流量と淡水流入量より求めたものである。淡水流入量、流入負荷量はかなり綿密な調査によって、昭和49、50年度に著者らが推定した値である<sup>3)</sup>。ただ工場排水のN負荷は一部有機態の部分が欠落している惧れがある。

ボックス平均濃度は完全な平均値を算出できるほど十分な実測データがそろっているわけではないので、平均のとり方に無理のない範囲で工夫を加えた。

表Ⅲ4-2 徳山湾の諸元 (5 ボックス)

	単 位	BOX	I	II	III	IV	V	備 考
表 面 積	km <sup>2</sup>	A	2.21	7.11	6.49	6.98	37.49	メッシュより計算
平均水深	m	H	5.00	8.59	6.49	8.98	13.89	
容 積	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	V	11.0	61.0	42.1	62.7	520.7	A×H
淡水流入量	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /日	年平均	130	150	610	250	190	海面降雨量考えず (蒸発量とみあう)
流 入	COD	kg/日	2025	661	5540	7716	230	S48~49 かなり 減少している。
負 荷	N	kg/日	412	205	5186	845	7	BOX I Org-N の加算の要あり
荷 量	P	kg/日	388	129	5006	722	7	BOX III NO <sub>3</sub> -N
		年平均	30.5	22.3	186	183	4.3	1256 kg/日
		年平均	24.2	15.3	174	159	4.3	降下物考えず
ボ平	Cl	年平均	17.73	17.93	17.58	17.82	17.94	C <sub>02</sub> 18.18 C <sub>05</sub> 18.22
ッ均	N	mg/ℓ 夏場	0.59	0.43	0.74	0.53	0.43	0.27 0.25
ク濃	P	mg/ℓ 夏場	0.053	0.039	0.063	0.061	0.041	0.023 0.021
度								



(2) 基礎式および計算方法  
基礎式は次の1)から8)に示したとおりである。

$$V_1 \frac{dC_1}{dt} = L_1 - Q_{12}C_1 - K_{12}(C_1 - C_2) + R_1V_1 \quad \text{----- (1)}$$

$$V_2 \frac{dC_2}{dt} = L_2 + Q_{02}C_{02} + Q_{12}C_1 - (Q_{23} + Q_{25})C_2 - K_{02}(C_2 - C_{02}) + K_{12}(C_1 - C_2) + K_{23}(C_3 - C_2) + K_{25}(C_5 - C_2) + R_2V_2 \quad \text{----- (2)}$$

$$V_3 \frac{dC_3}{dt} = L_3 + Q_{23}C_2 - Q_{35}C_3 - K_{23}(C_3 - C_2) - K_{35}(C_3 - C_5) + R_3V_3 \quad \text{----- (3)}$$

$$V_4 \frac{dC_4}{dt} = L_4 - Q_{45}C_4 - K_{45}(C_4 - C_5) + R_4V_4 \quad \text{----- (4)}$$

$$V_5 \frac{dC_5}{dt} = L_5 - Q_{25}C_2 + Q_{35}C_3 - Q_{50}C_5 + Q_{45}C_4 + K_{45}(C_4 - C_5) - K_{25}(C_5 - C_2) + K_{35}(C_3 - C_5) - K_{05}(C_5 - C_{05}) + R_5V_5 \quad \text{----- (5)}$$

ここで  $C$ :  $\text{Cl}^-$ , TN, TP, COD 濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

$V$ : ボックス容積 ( $10^3 \text{m}^3$ )     $L$ : 流入負荷量 ( $\text{kg}/\text{日}$ )

$Q_{ij}$ : ボックス  $i$  から  $j$  への移流水量 ( $10^3 \text{m}^3/\text{日}$ )

$K_{ij} = K_{ji}$ : ボックス  $ij$  間の拡散水量 ( $10^3 \text{m}^3/\text{日}$ )

$R$ :  $\text{Cl}^-$ , TN, TP, COD 濃度の変化項 ( $\text{g}/\text{m}^3/\text{日}$ )

$R \cdot V = X$ : 変化量  $\text{Cl}^-$  については  $X=0$

$$\text{COD については } R_c = -K_c \cdot C \quad \text{----- (6)}$$

$$N \text{ については } R_N = -(\omega/H)(SSN/N)N + r_N/H - K_{NN} \quad \text{----- (7)}$$

$$P \text{ については } R_P = -(\omega/H)(SSP/P)P + r_P/H \quad \text{----- (8)}$$

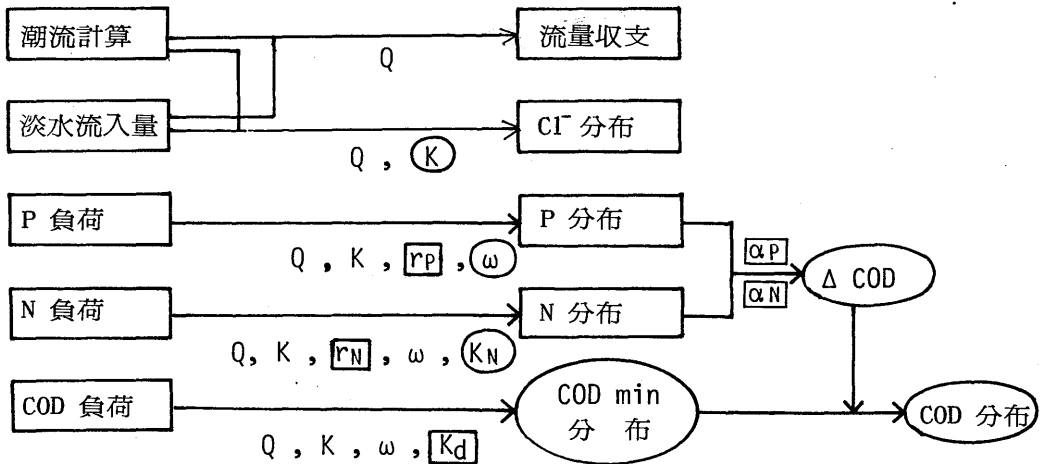
ただし,  $K_c$ : CODの減少係数 ( $1/\text{日}$ ),  $\omega$ : SSの沈降速度 ( $\text{m}/\text{日}$ ),  $H$ : 水深 ( $\text{m}$ )

$r_{N,p}$ :  $N, P$ の溶出速度 ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{日}$ ),  $K_N$ :  $N$ の減少係数 ( $1/\text{日}$ ) である。

計算方法の概要の流れを図Ⅲ 4-2 に示すが、潮流計算より  $Q_{ij}$  を求め、定常状態を仮定して  $Cl^-$  の収支より  $K_{ij}$  を算出し、同じく  $P$  の収支より沈降速度  $w$  を、 $N$  の収支より  $K_N$  を順次算出して定常計算を完了する。 $COD$  については、後述するように  $COD_{min}$  を算出し、これに  $TN$ 、 $TP$  濃度より求めた  $\Delta COD$  を加算して求める。

非定常計算では、負荷量、溶出量等の入力条件を変えることにより、新たな  $N$ 、 $P$  定常濃度を得、 $COD$  は同じく新たな  $COD_{min}$  を得て、これに新しい  $N$ 、 $P$  濃度に対応する  $\Delta COD$  を加算して予測濃度とする。

$COD$  についても、 $COD$  分布を既知として、内部生産を含んだ総括的な  $COD$  変化係数  $K_c$  を求めることも可能であるが、この方法では  $N$ 、 $P$  濃度と内部生産の関係をつけることができない。



図Ⅲ 4-2  $\Delta COD$  法ボックスシミュレーションの手順

### (3) 計算結果

①  $Cl^-$  の収支と  $K$  の算出 1) ~ 5) 式で  $C$  を表Ⅲ 4-2 から既知として与え、各ボックスとも定常状態を仮定して  $K_{ij}$  を求めた。ただし、未知数 7 個に対して、方程式の数が 2 個足りないので

$$K_{05}/K_{02} = 1.790 \quad \dots\dots\dots (9) \quad K_{35}/K_{23} = 1.375 \quad \dots\dots\dots (10)$$

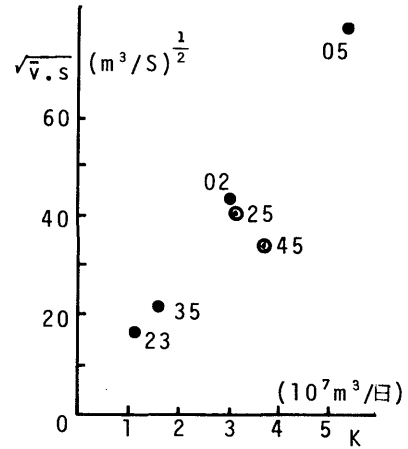
の 2 式を加えた。9), 10) 式の根拠としては次のように考えた。まず、各境界面における流速ベクトルの大きさを各潮時について平均し、 $\bar{v}$  として、これにそれぞれの境界面の断面積  $S$  を乗じたものの平方根と  $K_{ij}$  が比例的な関係にあると考えた。

1) ~ 5), 9), 10) 式より、 $K_{ij}$  を算出した結果を表Ⅲ 4-3 に示す。この  $\sqrt{\bar{v} \cdot S}$  と  $K_{ij}$  の関係をプロットしてみると、図Ⅲ 4-3 のようになる。物理的な根拠づけは明らか

ではないが、一応  $K_{ij}$  の設定ができたとして論を進めた。

表Ⅲ 4-3  $Cl^-$  に対する拡散水量

ボックス 間境界	$\bar{v}$ (m/s)	断 面 積 $S$ (m <sup>2</sup> )	$\sqrt{\bar{v} \cdot S}$	拡散水量 $K$ (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /日)
02	0.088	21,890	43.9	30,220
21				11,530
23	0.038	7,260	16.6	11,590
25	0.118	14,320	41.1	31,430
35	0.030	16,170	22.0	15,940
45	0.034	34,600	34.3	37,130
05	0.100	61,950	78.7	54,090



図Ⅲ 4-3  
拡散水量  $K$  と  $\sqrt{\bar{v} \cdot S}$  の関係

## ② P, N収支とQ, Kの補正

P, Nの収支についてまず、1) ~ 5) 式で、 $Q_{ij}$ ,  $K_{ij}$ ,  $L_i$ ,  $C_i$ を既知とし、定常状態として、変化量  $X_i = R_i \cdot V_i$  を算出し、大きさの判断のできる面積あたりの変化量を求め大まかな整合性を調べた。

$Cl^-$  収支を説明できるQ, KをそのままP, Nの計算に用いると、 $X_i$ は異常に大きい値となり、Lや溶出などの負荷項が常識から外れたほど大きいと考えなければならず、実情に合わない。そこで吸着性や沈殿性のない $Cl^-$ に対するQ, Kを、吸着吸収されやすくなりかなりの部分が常にSSとして存在しているNやPにそのままあてはめることに無理があると考え、試行錯誤により、色々な条件にもっともよく整合するQとKのそれぞれの補正係数  $\alpha$ ,  $\beta$  の設定を検討した。

計算の1例を表Ⅲ 4-4, 表Ⅲ 4-5に示した。P, Nとも  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 0.25$  程度とする時、現状との矛盾がもっとも少いように思われる。両表の最終欄は上述の  $\alpha$ ,  $\beta$  の組み合わせで、年平均から冬場の変化量の状況を試算してみたものであり、夏場の変化量が正の傾向を示すものが多いのに対して、冬場のそれは概ね、負となっている。

この  $\alpha$ ,  $\beta$  の補正は重要な問題であるので、今後さらに検討の必要がある。ここではP, Nとも補正係数を同じとしたが、溶解性の差にその原因があるならば、補正係数にも違いをもたせなければならない。

## ③ 沈降速度 $w$ , N減少係数 $K_N$ の算出

まず、Pの収支において8) 式を用いて  $r_P$  に実測値を入れ、 $ssP / P$  を実測データを参考にして1/2あるいは2/3の2つの場合について収支をとってみると、表Ⅲ 4-6のようになり、SSの沈降速度  $w$  は10 ~ 20 cm/日となる。

表Ⅲ 4-4 Pに対するQ,Kの補正係数

$\alpha$	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	1.0	年平均～冬 $\alpha=0.50$ $\beta=0.25$
$\beta$	0.225	0.25	0.245	0.30	0.325	0.35	1.0	
$X_1$	8.9	13.3	17.7	22.1	26.4	30.8	17.3	11
$X_2$	10.0	13.6	17.2	20.8	24.4	28.0	5.2	- 74
$X_3$	1.5	22.0	43	64	85	106	545	- 35
$X_4$	-9.1	10.0	30	49	68	88	575	- 30
$X_5$	-21.6	-23.5	-25	-27	-29	-31	-16.9	-112
$X_1/A_1$	4.2	6.3	8.4	10.5	12.5	14.6	78	4.9
$X_2/A_2$	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	0.7	- 10.4
$X_3/A_3$	0.2	3.4	6.7	9.9	13.1	16.3	84	- 5.4
$X_4/A_4$	-1.3	1.4	4.2	7.0	9.8	12.6	82	- 4.3
$X_5/A_5$	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.50	- 3.0

$\beta=\alpha^2$ とした。

$X(\text{kg/日}), X/A(\text{mg/m}^2/\text{日})$

表Ⅲ 4-5 Nに対するQ,Kの補正係数

$\alpha$	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	1.0	年平均～冬 $\alpha=0.5$ $\beta=0.25$
$\beta$	0.225	0.25	0.275	0.30	0.325	0.350	1.0	
$X_1$	37.3	88	137	187	237	287	1508	-14
$X_2$	27.0	54	78.5	104	130	156	10	-605
$X_3$	-2692	-2415	-2138	-1861	-1583	-1306	4623	-2928
$X_4$	50.5	153	249	349	475	548	3001	-29
$X_5$	-195	-210	-236	-257	-277	-298	119	-1072
$X_1/A_1$	16.8	40	62	85	107	130	173	-6.1
$X_2/A_2$	3.8	7.6	11	14.6	18.3	21.9	5.2	-85
$X_3/A_3$	-415	-372	-329	-287	-244	-201	545	-451
$X_4/A_4$	7.2	21.9	36	50	68	79	430	-4.2
$X_5/A_5$	-5.2	-5.6	-6.3	-6.9	-7.4	-7.9	3.2	-29

$X: (\text{kg/日}), X/A: (\text{mg/m}^2/\text{日})$

表Ⅲ 4-6 SS沈降速度 $\omega$ の算出

Box	変化量 $X_i/A_i$	溶出量 $r_{pi}$	沈降量 $\lambda_{pi}$		SSの沈降速度 $\omega_i(\text{m/日})$	
	$(\text{mg/m}^2/\text{日})$		$(\text{mg/m}^3/\text{日})$		Case 1	Case 2
1	6.3	13	6.7	1.34	0.25	0.19
2	1.9	4	2.1	0.244	0.099	0.074
3	3.4	10	6.6	1.02	0.21	0.16
4	1.4	6	4.6	0.512	0.15	0.11
5	0.6	2	2.6	0.187	0.12	0.09

$r_p$ は実測値より

この値は、SSのまきあがりをさしひいた正味の沈降速度に対応し、これも種々の文献値よりみてほぼ妥当な値ではないかと考えられる。

次にこの $w$ を用い、 $N$ の収支について、7) 式から $r_N$ に実測値を入れ、残りの変化項を求め、 $K_N$ を算出した結果を表Ⅲ 4-7、8に示した。 $ssN/N$ はやはり実測値を参考にして、 $\frac{1}{3}$ あるいは $\frac{1}{2}$ の2つの計算条件につき、したがってPの場合の2条件と組み合わせて4ケースについて計算している。表Ⅲ 4-8はcase 1の場合を示している。

$K_N$ は BOX 1で負、BOX 3で過大となっているが、前者ではポリウレタン工場の有機N負荷が入力されなかったこと、後者では、2ソーダ工場のN負荷に対して広大な沈殿池における除去率を考慮しなかったこと、ステンレス工場から、 $NO_3-N$ 負荷が相当あること、富田川河口部の存在などがその原因であると考えられる。

村上らの河口湖を想定した現地模型実験から、 $K_N$ を計算すると、0.025 1/日程度の値が得られるが、表Ⅲ 4-8の値と比較して、大略的にはよく合っている。Nは河口部等において意外に大きい減少速度をもつものではないかと考えられる。

#### ④ CODについて

CODについては、やはり $\alpha = 0.8$ 、 $\beta = 0.64$ で $Q$ 、 $K$ をそれぞれ補正し、境界値として、 $C_{02} = 1.200$ 、 $C_{05} = 1.134$ を用い、COD負荷を入れて、減衰のみを考慮した陸上からのCODに対応するCODminの分布を求めた。

なお $K_d$ は諸文献値や、当該地区の工場排水の酸素消費の実験などから、BOX 2,4に対しては0.015 1/日、その他に対しては0.03 1/日を与えた。

その結果は表Ⅲ 4-9にまとめるが、このCODminの値に、Pによる $\Delta COD$ を上づみさせ、各BOXの現状COD濃度の再現を行った。 $\alpha_P$ は夏場表層水の値で、 $\Delta COD/P$ を表わしている。図

表Ⅲ 4-7  $K_N$ の算出結果 (10<sup>-3</sup>1/日)

Box	Case	1	2	3	4
	SSN/N	1/3	1/3	1/2	1/2
	SSP/P	1/2	2/3	1/2	2/3
1		-1.00	3.00	-9.34	-3.3
2		5.79	6.76	3.87	5.33
3		81.5	84.1	76.1	80.0
4		1.01	3.39	-0.87	1.35
5		2.94	3.36	1.50	2.58

表Ⅲ 4-8  $K_N$ の算出 (Case1)

Box	変化量 $X_i/A_i$	溶出量 $r_{Ni}$	沈降量 $\lambda_{Ni} = \frac{w_i}{3} N_i$	脱窒量 $KN_i \cdot N_i \cdot H_i$	$K_{Ni}$ (1/日)
1	40.0	86	49	-3	$-1.004 \times 10^{-3}$
2	7.6	43	14	21.4	$5.793 \times 10^{-3}$
3	-372	71	52	391	$81.5 \times 10^{-3}$
4	21.9	57	26	9.1	$1.91 \times 10^{-3}$
5	-5.6	29	17	17.6	$2.936 \times 10^{-3}$

表Ⅲ 4-9 夏場表層のCOD分布 (mg/l)

Box	CODmin	P	$\alpha_P$	$\Delta COD$	COD
1	1.58	0.053	40	2.12	3.70
2	1.40	0.039	48	1.87	3.27
3	1.42	0.063	37	2.33	3.75
4	1.41	0.061	45	2.75	4.16
5	1.21	0.041	50	2.05	3.26

$\alpha_P = \Delta COD/P$



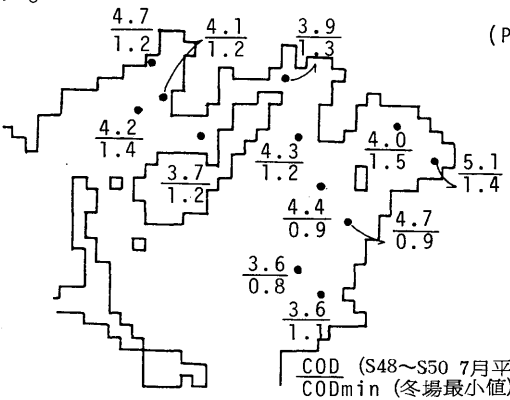
Ⅲ 4-4にCODminと夏場のCOD実測値を示すが、表Ⅲ 4-9の値とほぼよい対応をしている。

#### ④ 非定常計算

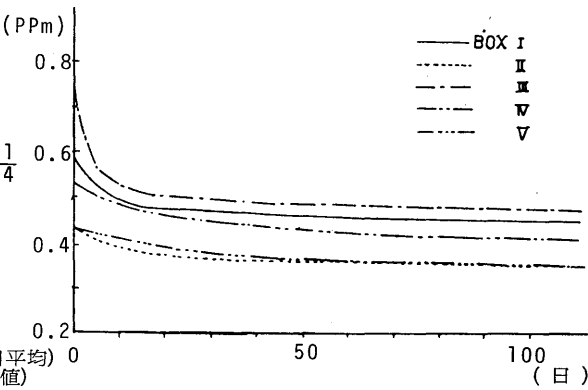
これまでの定常計算において得られた各係数値を用いて、次に、陸上からの負荷あるいは溶出負荷を減じた場合の水質改善効果を非定常の数値計算により算出した。 $\Delta t$ は1日、陽形式の差分によった。

図Ⅲ 4-5にその1例として、陸上からのN負荷を一律 $\frac{1}{2}$ 削減したときの水質の改善状況を示しているが、ほぼ2ヶ月程度で新しい定常濃度が得られている。

表Ⅲ 4-10, 11に N, Pの負荷あるいは溶出を $\frac{1}{2}$ にしたときの水質改善効果をまとめた。



図Ⅲ 4-4 CODの実測値



図Ⅲ 4-5 流入負荷  $\frac{1}{2}$  時の N 水質改善の状況

表Ⅲ 4-10 P の水質改善効果

項目 BOX	流入負荷 $L_p$ (kg/日)	溶出量 $r_p \cdot A$ (kg/日)	現状 P 濃度 (ppm)	$L_p/2$ 時の P 濃度 (ppm)	$r_p \cdot A/2$ 時の P 濃度 (ppm)	$L_p/2$ 時の 削減率 (%)	$r_p \cdot A/2$ 時の 削減率 (%)
I	330.5	28.6	0.053	0.043	0.046	19	13
II	22.3	28.4	0.039	0.033	0.036	15	8
III	186	64.9	0.063	0.047	0.056	25	11
IV	183	41.9	0.061	0.045	0.055	26	10
V	4.3	75.0	0.041	0.034	0.037	17	10

表Ⅲ 4-11 N の水質改善効果

項目 BOX	流入負荷 $L_N$ (kg/日)	溶出量 $r_N \cdot A$ (kg/日)	現状 N 濃度 (ppm)	$L_N/2$ 時の N 濃度 (ppm)	$r_N \cdot A/2$ 時の N 濃度 (ppm)	$L_N/2$ 時の 削減率 (%)	$r_N \cdot A/2$ 時の 削減率 (%)
I	412	189	0.59	0.45	0.53	24	10
II	205	305	0.43	0.35	0.40	19	7
III	5,190	461	0.74	0.48	0.70	35	5
IV	845	398	0.53	0.41	0.47	23	11
V	7	1,090	0.43	0.35	0.39	19	9

#### (4) 本法の問題点

本法の特長は i) 計算量が小さい。ii) 手軽に数値実験ができる。iii) 定常計算により未定係数あるいは未確定量の一つずつ推定できることなどである。

本法の問題点としては、i) ボックス内完全混合であり、細かい場所的評価ができない。

ii) ボックスの平均濃度、係数の平均値の設定がむづかしいこと iii) 重要な2係数、溶出速度  $r_N, r_P$  と変換率  $\alpha_N, \alpha_P$  がいずれも、現状値としての場所的な定数として与えられるので、真の意味の将来予測にならない。iv)  $K$  の決め方、あるいは  $K$  を  $N, P$  に適用するときの補正について理論的な根拠づけができていないことなどである。

以下これらの問題点について若干の検討を行う。

##### ① ボックス分割とボックス平均濃度の設定

ボックス内を完全混合とするわけであるから、ボックス分割においては、地形条件や流れの面からばかりでなく、水質や底質の面からも考えて合理的な分割を行うべきである。

ボックス平均濃度は定常計算の既知条件であるから、その設定にあたっては、時間的、空間的に十分な量の測定値が必要であるが、現実にはそのような条件を満足できるほど、データの豊富な海域は少いので、ある程度勘に頼らざるを得ない部分が残される。

##### ② CODmin の設定

本法はもともと、COD年平均値の再現を対象にしたものである。毎月1回以上のCOD濃度測定値より、CODmin と  $\overline{\text{COD}}$  の差を  $\Delta \text{COD}$  として、変換率を設定するわけであるが、 $\overline{\text{COD}}$  はともかくとして、CODmin は、その考え方あるいは設定のし方にややあいまいな点がある。先に述べたように、減衰係数  $K_d$  を適切に与えて、CODmin を計算で求める方法が望ましいと考えられるが、この場合でも厳密には検証に用いるべきデータがないことが問題である。

##### ③ 拡散水量 $K$ の設定

先に述べた計算例では、 $K_{ij}$  を求める際、拡散水量と  $\sqrt{\bar{v} \cdot S}$  が比例関係にあるとして、2つの補助方程式を加えたが、次元的には、むしろ  $\bar{v} \cdot S$  に比例すると考えた方がより合理的であるので、この両方の場合について、比のとり方を変えて、 $K_{ij}$  を求めてみたところ、どの場合についても、さほど大きな差はみられないが、徳山湾については  $K$  との対応は  $\bar{v} \cdot S$  よりむしろ  $\sqrt{\bar{v} \cdot S}$  の方がよい。<sup>5)</sup> なお他海域に適用した場合には  $\bar{v} \cdot S$  でよい対応が得られているので、一般的には次元の合っている  $\bar{v} \cdot S$  の方を用いるべきであろう。なお感潮部の解析では、 $K$  は海水溯上量に比例するという考え方が非常に有効であることも確認している。

#### 4・3 生産関数法ボックスモデルシミュレーション

##### (1) 計 算 方 法

この方法は、N、P濃度の計算までは△COD法と全く同じである。CODの計算においては、明暗びんによるCOD生産速度の測定を行って、海面面積あたりのCOD生産速度を水中のTNあるいはTP濃度の関数（生産関数）として表現し、定常計算により未定係数として、COD減少係数 $K_d$ を求める。

前節と同様に徳山湾について行った計算例を示す。

i) 拡散水量 $K$ は $\bar{v} \cdot S$ に比例するとして補助方程式をたて、数通りの試算を行った結果からもっとも整合性のよいものを用いた。

ii) 生産関数 $\phi_c$ は前章の式(22), (23)において、周防灘における実測データより<sup>6)</sup> $a=1$ としたものを用いた。CODの変化項はこの場合次式で表わされる。

$$R_c = -K_c \cdot C = \phi_c / H - K_d \cdot C \quad \cdots \cdots (11)$$

$K_c$ は生産も含めた総括的なCOD減少係数である。 $K_d$ は植物プランクトンの呼吸を含めたCOD減少係数であり、 $K_c$ から生産項を分離したものである。COD濃度の定常収支から、 $\phi_c$ か $K_d$ のいずれかを未定係数として求めることができるが、ここでは $\phi_c$ を既知とし、 $K_d$ を求めた。

##### (2) 計 算 結 果

表Ⅲ4-13に定常計算による諸係数の結果をまとめた。周防灘における実測データから<sup>6)</sup>、プランクトンの呼吸を含めたCODの減少速度と水中のCOD濃度の関係には、

$$-\frac{dc}{dt} = 0.04 C^2 \quad (C: \text{COD濃度 } mg/\ell) \quad \cdots \cdots (12)$$

なる関係がみられたが、先の式(11)の $K_d$ は $0.04 C$ に対応するものである。表Ⅲ4-13に示された $K_d$ の計算結果と $0.04 C$ の値を比べてみると、個々のボックスでの整合性はともかくとして、平均的には $K_d$ は $0.11 (1/\text{日})$ 、 $0.04 C$ は $0.15 (1/\text{日})$ と両者は概ね近い値となっている。

非定常計算ではまずP、Nについて、新しい入力条件（流入負荷および溶出速度）で定常状態になるまで $\Delta t = 1$ 日で、計算をくりかえし、得られたP、N定常濃度を用いて、 $\phi_c$ を与え、新しいCOD負荷を入力条件としてCODの非定常計算を行い、新しい定常濃度を得る。このような方法ではCODはほぼ200日で安定する。

##### (3) 本法の問題点

本法は生産速度をN、P濃度の関数として与えることができるので、この面では将来予測の精度は一步向上したことになる。その他の点では前節の方法と全く同様であり、底泥

の影響は地域的な定数としてしか入力されない限界性がある。

また△COD法、生産関数法とも、移流量と $Cl^-$ 分布およびボックス境界面の潮流ベクトルが流動場の設定に必要であり、流況の変化を伴わない水質予測においても、潮流シミュレーションの情報が要求される。流況の変化を伴う埋立アセスメントにおいては、流況予測のほかに、 $Cl^-$ 定常濃度予測の計算も場合によっては必要であるが、このような計算は対象となる海域のほとんどでなされているのが普通であり、その情報が利用できる。

表Ⅲ 4-13 定常計算による COD 減少係数等の計算結果

境界	$Cl^-$ に対する 拡散水量 $K$ ( $10^3 m^3 / 日$ )	BOX	SSの沈降 速度 $w$ ( $m / 日$ )	脱窒速度 定数 $K_N$ ( $1 / 日$ )	総括COD 減少係数 $K_c$ ( $1 / 日$ )	COD減少 係数 $K_d$ ( $1 / 日$ )	COD定常 濃度 $C$ ( $g / m^3$ )
02	38,400	1	0.264	- 0.002	0.067	0.203	3.70
12	11,500	2	0.185	0.006	-0.027	0.039	3.27
23	18,000	3	0.189	0.082	0.069	0.192	3.75
25	53,300	4	0.149	- 0.013	0.005	0.083	4.16
35	9,660	5	0.116	0.002	0.015	0.058	3.26
45	37,100	ssP/TP=1/2 , ssN/TN=1/3 , ssC/C=0.4 C <sub>02</sub> =2.12 , C <sub>05</sub> =2.18 , $\alpha$ =0.5 , $\beta$ =0.25					
56	46,800						

#### 4・4 Nボックスモデル水・底質予測<sup>7)</sup>

先の2-9節において、水・底泥からなる単一柱状モデルを用い、底泥表層における有機態Nの分解と上層水の鉛直混合に適当な季節変化を与えることによって、水・底泥間のN挙動の季節変化の形状をほぼ再現することができることを述べた。本節では、このモデルに2, 3改良を加えるとともに、これを前節のボックスシミュレーションの中に組み入れて計算することにより、底質予測を含めた長期的な水質予測を行う方法を紹介する。

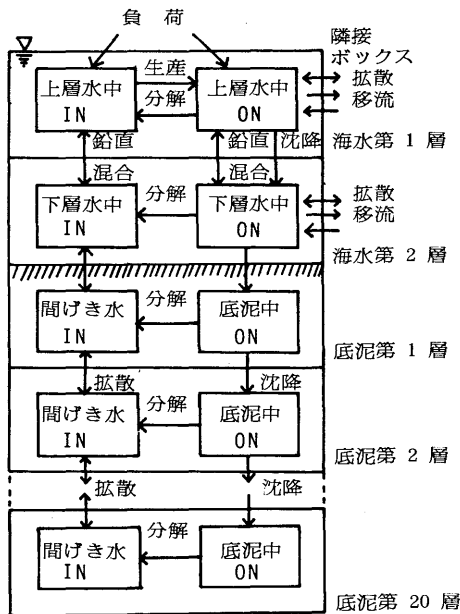
##### (1) 計 算 方 法

① モデルの概要 徳山湾を先の5つのボックスにわけ、その各々について図Ⅲ 4-8に示すような水層2層と底泥20層を設ける。水層は有光層、無光層で便宜的に水深を2分した。Nの形態は無機および有機の2態を考え、前者は $NH_4-N$ 、後者はプランクトン態Nを想定した。水中での有機態Nの分解は上下両層で考慮するが、有機態Nの生産は上層のみ、脱窒は下層のみで考えた。

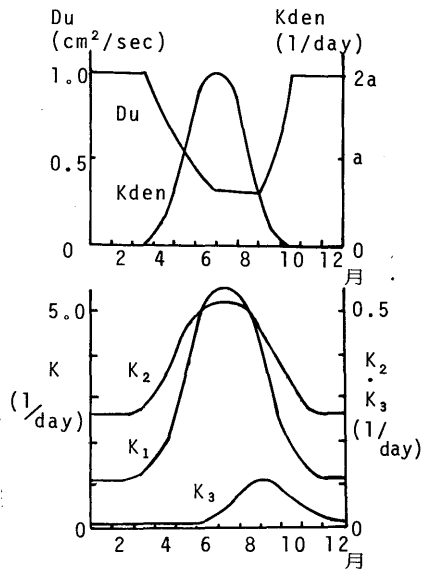
一方、底泥層は $\Delta x = 1 cm$ の20層を設け、Nの供給は有機態Nの沈降により行われ、泥中で有機態Nが分解することにより生成した $NH_4-N$ が間げき水中を拡散して上方または下方へ移動する。

水平方向の移動は水中では、上下層均等に移流、拡散を考慮するが、底泥中の水平方向

の移動は無視した。移流量および拡散水量については4-2節で求められた $Q$ ,  $K$ をそのまま用いた。プランクトンの生産速度, 水中あるいは底泥中での分解速度, 上下層水間の鉛直混合係数, 下層水における脱窒速度定数については, 実験値や文献値を参考にし、て適当な季節変化を与えた。



図Ⅲ 4-8 Nボックスモデル概要



図Ⅲ 4-9 諸係数の季節変化設定値

表Ⅲ 4-14 諸係数・諸元の概要

記号	記号の説明	単位	設定値 その他
$CNA_{si}, CNA_{si}^i$	Aボックス海水及び底泥第i層の inorg N 濃度	$\mu\text{g/ml}$	i=1: 上層水 i=2: 下層水
$FNA_{si}, FNA_{si}^i$	〃 の org-N 濃度	$\mu\text{g/ml}$	
$QAB^U, QAB^L$	AボックスからBボックスへの移流量	$\text{m}^3/\text{日}$	U: 上層水 L: 下層水
$KAB^U, KAB^L$	A, Bボックス間の拡散水量	$\text{m}^3/\text{日}$	
$Du$	上, 下層水間の鉛直混合係数	$\text{cm}^2/\text{s}$	図Ⅲ 4-9 全ボックス共通
$K_1$	最大生産速度定数	$1/\text{日}$	図Ⅲ 4-9 全ボックス共通
$KN$	ミハエリス定数 ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ )	$\mu\text{g/ml}$	但し BOX 3 は $1/2$ $0.35 \mu\text{g/ml}$
$K_2$	海水中の分解速度定数	$1/\text{日}$	図Ⅲ 4-9 全ボックス共通
$LN_j$	jボックスへの TN 流入負荷	$\text{kg}/\text{日}$	表Ⅲ 4-2
$a_N$	負荷の inorg N / TN		0.8
$S_j$	jボックスの表面積	$\text{km}^2$	表Ⅲ 4-2
$H_{j1,2}$	jボックスの上層水及び下層水の水層の厚さ	$\text{cm}$	表Ⅲ 4-2 水深 $H_j$ の $1/2$
$X$	底泥各層の厚さ	$\text{cm}$	1.0cm
$Wp_j$	j: ボックスの沈降速度	$\text{cm}/\text{日}$	全ボックス 20 cm / 日
$Kden_j$	jボックス (下層水) の脱窒速度定数	$1/\text{日}$	図Ⅲ 4-9
$D$	分子拡散係数	$\text{cm}^2/\text{s}$	$0.5 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{sec}$
$Wsed$	沈下 (堆積) 速度	$\text{cm}/\text{日}$	0.01 cm / 日
$K_3$	底泥中の分解速度定数	$1/\text{日}$	図Ⅲ 4-9 全ボックス共通

② 基礎式 ボックス1 についての基礎式を以下に示す。記号の説明は表Ⅲ 4-14 にまとめている。

$$\begin{aligned}
 \text{(上層水の } \text{NH}_4\text{-N) } \frac{d\text{CN1}^{\text{S},1}}{dt} &= D_u \frac{\text{CN1}^{\text{S},2} - \text{CN1}^{\text{S},1}}{H_{11} \cdot 0.5H_1} - \frac{K_1 \cdot \text{CN1}^{\text{S},1}}{K_N + \text{CN1}^{\text{S},1}} \text{FN1}^{\text{S},1} + K_2 \text{FN1}^{\text{S},1} \\
 &\quad \text{鉛直混合} \quad \text{生産} \quad \text{分解} \\
 &\quad + \frac{a_N \cdot L_{N1}}{S_1 \cdot H_{11}} + \text{移流 + 拡散} \quad \text{流入負荷} \quad \text{----- (13)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(上層水の Org-N) } \frac{d\text{FN1}^{\text{S},1}}{dt} &= D_u \frac{\text{FN1}^{\text{S},2} - \text{FN1}^{\text{S},1}}{H_{11} \cdot 0.5H_1} + \frac{K_1 \cdot \text{CN1}^{\text{S},1}}{K_N + \text{CN1}^{\text{S},1}} \text{FN1}^{\text{S},1} - K_2 \text{FN1}^{\text{S},1} \\
 &\quad \frac{(1 - a_N) L_{N1}}{S_1 \cdot H_{11}} - \frac{W_{P1}}{H_{11}} \cdot \text{FN1}^{\text{S},1} + \text{移流 + 拡散} \quad \text{沈降} \quad \text{----- (14)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(下層水の } \text{NH}_4\text{-N) } \frac{d\text{CN1}^{\text{S},2}}{dt} &= -D_u \frac{\text{CN1}^{\text{S},2} - \text{CN1}^{\text{S},1}}{H_{12} \cdot 0.5H_1} + \lambda D \frac{\text{CN1}^{\text{S},1} - \text{CN1}^{\text{S},2}}{H_{12} \cdot 0.5\Delta X} \\
 &\quad + K_2 \text{FN1}^{\text{S},2} - K_{den1} \cdot \text{CN1}^{\text{S},1} + \text{移流 + 拡散} \quad \text{溶出} \quad \text{脱窒} \quad \text{----- (15)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(下層水の Org-N) } \frac{d\text{FN1}^{\text{S},2}}{dt} &= -D_u \frac{\text{FN1}^{\text{S},2} - \text{FN1}^{\text{S},1}}{H_{12} \cdot 0.5H_1} - K_2 \text{FN1}^{\text{S},2} + \frac{W_{P1}}{H_{11}} \text{FN1}^{\text{S},1} \\
 &\quad - \frac{W_{P1}}{H_{12}} \text{FN1}^{\text{S},2} + \text{移流 + 拡散} \quad \text{----- (16)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(底泥第 } i \text{ 層の } \text{NH}_4\text{-N) } \frac{d\text{CN1},i}{dt} &= D \frac{\text{CN1},i+1 - \text{CN1},i}{\Delta X^2} - D \frac{\text{CN1},i - \text{CN1},i-1}{\Delta X^2} \\
 &\quad + K_3 \text{FN1},i \quad \text{間けき内拡散} \quad \text{底泥中分解} \quad \text{----- (17)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(底泥第 } i \text{ 層の Org-N) } \frac{d\text{FN1},i}{dt} &= \frac{W_{sed}}{\Delta X} \text{FN1},i-1 - \frac{W_{sed}}{\Delta X} \text{FN1},i - K_3 \text{FN1},i \\
 &\quad \text{堆積ないし沈下} \quad \text{----- (18)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(BOX1 上層水 } \text{NH}_4\text{-N) に関する移流拡散項) } \frac{d\text{CN1}^{\text{S},1}}{dt} &= \text{(1) 式の第4項まで} - \frac{Q_{1,2}^u}{S_1 \cdot H_{11}} \cdot \text{CN1}^{\text{S},1} \\
 &\quad + \frac{K_{1,2}^u}{S_1 \cdot H_{11}} (\text{CN2}^{\text{S},1} - \text{CN1}^{\text{S},1}) \quad \text{移流} \quad \text{拡散} \quad \text{----- (19)}
 \end{aligned}$$

③ その他 上式を半陰形式で差分化し、 $\Delta t = 1$  時間として連立方程式を解き、逐次、濃度を計算する。なお計算容量節約のため、水層から底泥第 4 層までと 5 層以下に分け、この間の物質移動量は陽形式で表現して計算した。

境界濃度はそれぞれに接する湾内のボックスの濃度の変動に連動させて変化するものとした。

各ボックスの脱窒素速度定数は既報で求めた夏場の値を基本にして、面積あたりの N 流入負荷の比率を考慮して補正し、さらに下層水のみを設定するために 2 倍した値を用いた。

実際には鉛直混合の関係から図Ⅲ 4-9 の左図に示すような季節変化を与えている。図中 a は BOX 5 の  $0.04 \times 10^{-3}$  から BOX 3 の  $0.16$  1/日の範囲である。

## (2) 計算結果

① 季節変化のシミュレーション 昭和 47 年時点の徳山湾の水質、底質分布より、適当な初期条件を設定し、その当時の流入負荷を入力して、長期間にわたり濃度を計算すると、5 年目ぐらいでほぼ 1 年を周期とした定常解が得られた。5 年目の各ボックスの N 溶出速度の季節変化を図Ⅲ 4-10 に示したが、概ね実際に近い季節変化の形状が表現されている。図Ⅲ 4-11, 12 は BOX 1 について  $\text{NH}_4\text{-N}$  の鉛直分布と、水層の TN,  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の季節変化をそれぞれ示したものである。前者では、間げき水中の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の特徴ある分布がほぼ再現できている。図Ⅲ 4-12 で、夏季の上層水の TN が減少気味なのは、流入負荷に季節変化を与えなかったこと、7 月ころの脱窒速度をやや過大に与えていることなどがその原因であると考えられる。

② 流入負荷削減効果 上記の計算の 6 年後の値を初期値として、BOX 3 への流入 N 負荷を  $2$  t/日減少させたときの水質改善効果を計算した結果を図Ⅲ 4-13, 14 に示した。まず図Ⅲ 4-13 で、BOX 3 の上層水 TN 濃度は、2 ヶ月程度で急激に減少したのちは、わずかではあるがゆるやかに減少し、3~4 年でほぼ落ちついてくる。これに対して下層水の濃度および溶出速度は 5~6 年まで徐々に減少の傾向がみられる。

図Ⅲ 4-14 で、BOX 1 や BOX 2 の溶出速度の変化をみてもほぼ同様の傾向がみられる。

このように陸上からの負荷の減少が、水質の低下につながり、さらに時間遅れを経て、底質の改善に至る過程が以上のような計算から理解することができる。

## (3) 本法の問題点

ここでは、現場の状況の忠実なシミュレーションを目的とせず、ともかく、底質予測をいれた水質予測によって、季節変化の状況の再現を試みたが、その意味においては、ほぼ所期の目的は達したものである。

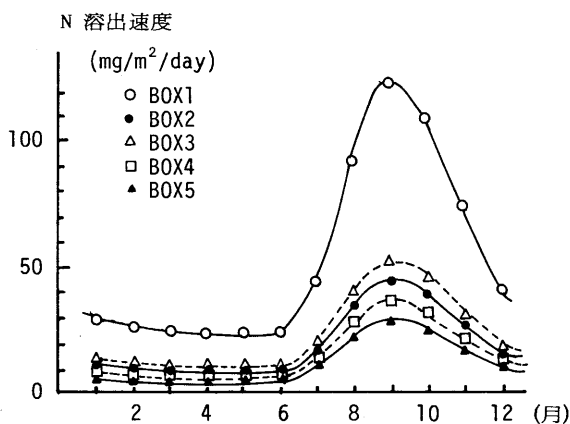
現場データとの対応も、図Ⅲ 2-53 の溶出速度のデータと図Ⅲ 4-10 の計算値を比

較するとほぼよい対応をしており、Nの濃度予測にかぎっていえば、各係数の設定に吟味を加えることにより、このようなモデルで長期的な水質予測が可能であると考えられる。

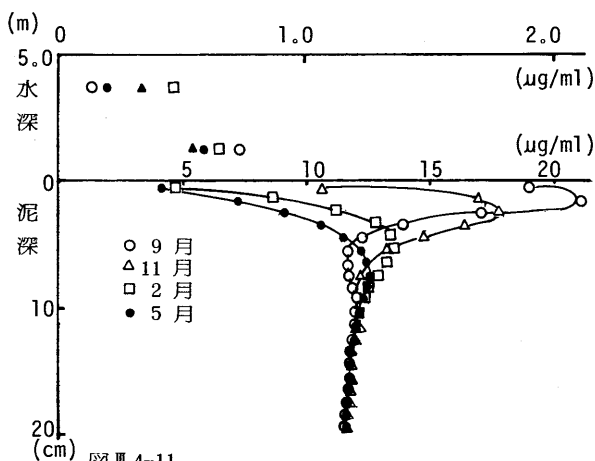
しかし、CODの予測においては、NよりもPの方が内部生産の制限因子になっている水域が多いことから、Pに関する水、底質予測を行うことが必要となってくる。

著者らはまず、Nの場合と同様に底泥、水柱状モデルのPの挙動の季節変化の再現を種々の方法で数値シミュレーションを行っているが、まだ満足できる計算方法を確立するまでには至っていない。Nと異なり、Pの挙動にはDO、硫化物、酸化鉄などの関与があり、どうしても複雑なモデルにならざるを得ない。

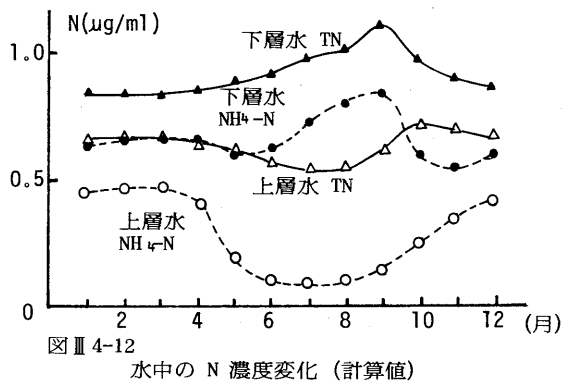
NはPに比較すると単純ではあるが、本節で示した計算でも作業量はかなり大きく、P、N、COD連動モデルのようなより本格的な水、底質予測のためには、実用性を重視したより簡便な方法を摸索する必要もあると考えられる。



図Ⅲ 4-10  
N 溶出速度の季節変化 (計算値)

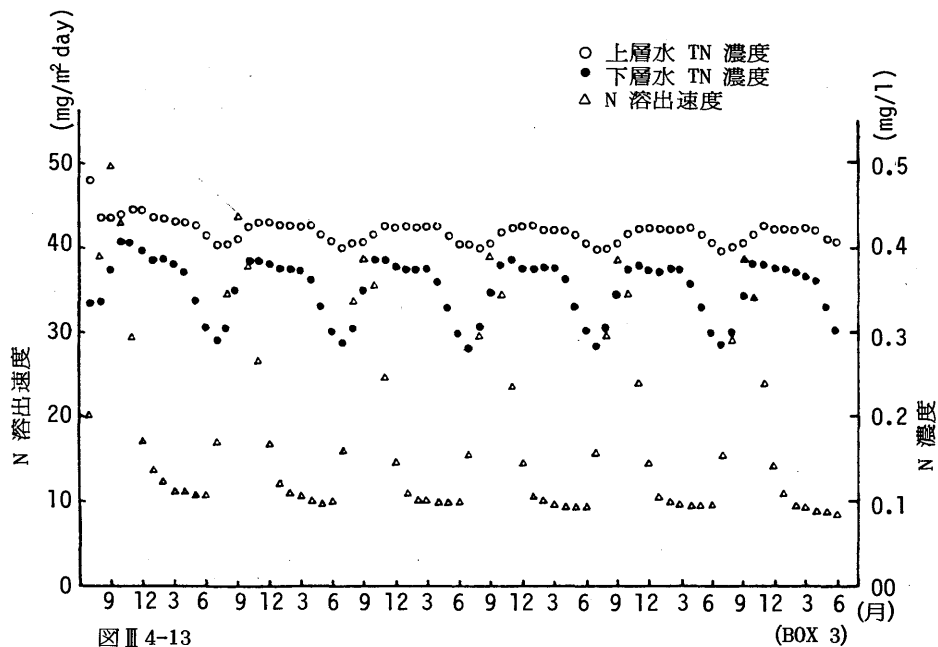


図Ⅲ 4-11  
NH<sub>4</sub>-N の分布 (計算値)

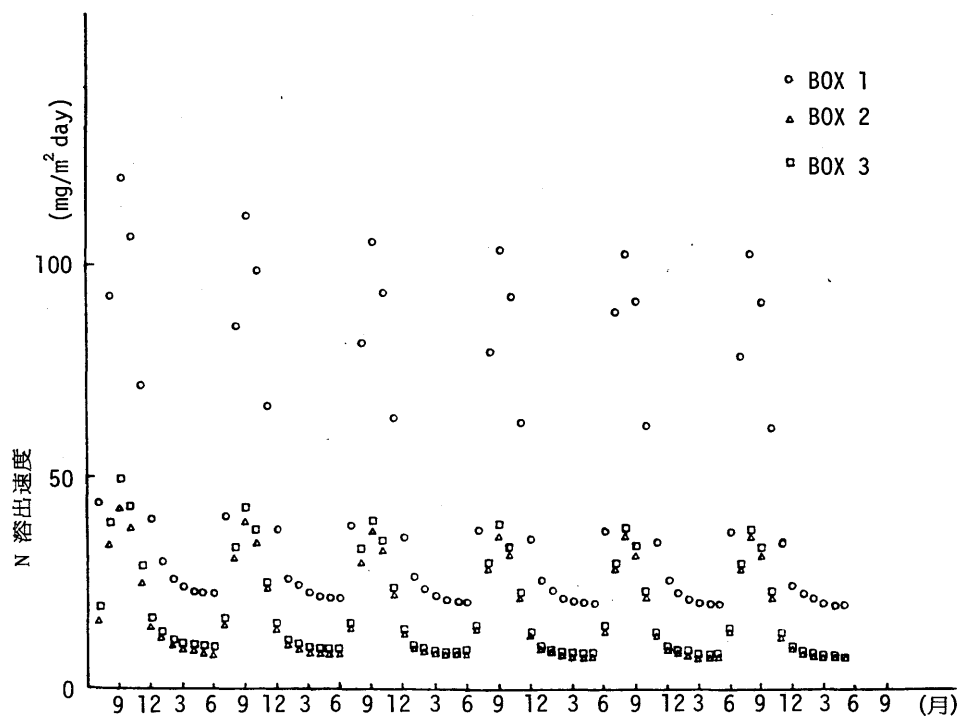


図Ⅲ 4-12  
水中の N 濃度変化 (計算値)





BOX 3 の N 負荷 2t / 日減の水質・底質への影響



BOX 3 の N 負荷 2t / 日減の N 溶出速度への影響

### Ⅲ - 5 第Ⅲ部の総括(富栄養水域における

#### N, Pの挙動に関する研究の成果のまとめ)

第Ⅲ部においては、富栄養水域、主として海域へ出てからのN, Pの挙動を、水・底泥間の相互作用と植物プランクトンによる同化を中心として明らかにし、水域の有機汚濁とN, Pの関係を論じてきた。

底質評価に関する研究では

i) N, Pについて、水と底泥の間の物質交換機構を現場観測、実験、文献考察より明らかにし、Nについては、ほぼ実用可能なモデルの確立ができたといえる。Pについては、モデルの骨格はともかくとして、実際の計算で安定な結果を得るまでには至らなかった。

ii) 底泥からのN, Pの回帰、すなわちN, Pの溶出速度にはかなり顕著な季節変化がみられ、それは主に泥中での有機物の分解速度が温度によって大きく変化することによる。

Pはこの他、酸化層の消長に溶出が支配され、Nの溶出速度より急激な季節変化を呈し、溶出の盛んな時期は比較的短期間であることを明らかにした。

iii) 各地における溶出速度の実測値から、底泥の酸素消費速度は $100 \sim 2,000 \text{ mg/O}_2/\text{m}^2/\text{日}$ 、Nは $10 \sim 200 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ 、Pは $0 \sim 40 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ 程度であり、陸上からの負荷に対して、Nでは5~60%, Pは1~200%を占め、季節的には、流入負荷に匹敵する溶出負荷を示すことがわかった。

iv) 比較的簡単なコアサンプラーを製作し、コアサンプルの採取とそれによる溶出速度の実測方法を提示した。

N, PからのCODの生産に関する研究においては

i) 簡単な内部生産評価法として、 $\Delta \text{COD}$ と変換率の概念を提案した。

ii) プランクトン培養実験から、NやPが1回の培養期間内でも、リサイクルされて、プランクトンに利用され、生産した有機物が蓄積するため、変換率が時期的には1以上の大きい値を示しうることを確認した。また植物プランクトンの標準組成としてStummの式をもとにしたTOD, N, P換算係数を沿岸域においても適用できることを明らかにした。

iii) CODのTODへの換算係数については、プランクトンの状態によりかなり変動し、なお検討の余地がある。

iv) 富栄養水域の経常的な水質監視項目として、一次生産速度を採用すべきことを指摘し、そのための簡易な明暗びんによる測定方法を提示した。

v) その方法により、一次生産の季節変化をみたところ、純生産はほとんど5月から9

月の高温期に集中し、冬季の生産はほとんど無視しうる程度であることを確認した。

水質シミュレーションに関する研究では

i) ボックスモデルをとりあげ、まず、△COD法ボックスモデルおよび生産関数法ボックスモデルを提案した。ここでは $Cl^-$ 収支より拡散水量を、P収支よりSSの沈降速度を、N、COD収支より、脱窒速度定数、COD減少係数を順次求めていく方法をとっており、これらの直接的な測定が困難であることから、實際上非常に有効な方法といえる。

ii) 次いでNに関する水・底質予測ボックスモデル法を提示し、長期的な、本来的な意味での水質予測の可能性を示した。

富栄養水域におけるN、Pの挙動に関する研究についての今後の課題としては

① Pの水、底泥間の挙動季節変化シミュレーション（水、底泥柱状モデルによるPの挙動季節変化を安定して再現したのち、実水域におけるPの水、底質予測ボックスシミュレーションを行う。）

② 底質予測を含むP、N、COD連動モデルの検討（底質予測を含み、内部生産を考慮した水、底質シミュレーションモデルと簡易モデルの検討）

③ 水、底質予測より生態系予測への摸索  
などが考えられる。

なお、河川感潮部におけるN、P等の挙動、泥浜、砂浜など渚における挙動、浅海部における底泥微粒子や浮泥のまきあがりの水質への影響の評価など、本研究であまり手をつけなかった問題もあり、今後さらに研究をつづけていく必要がある。

ことに河口感潮部や、干潟は水産資源の観点からも、また浄化力の面からも重要な環境であり、埋立の対象ともなることが多いので、今後の重要な研究対象の一つとなろう。

## 第Ⅳ部 富栄養化制御の目標設定とその対策に関する研究

### Ⅳ－１ 概 説

富栄養化制御の目標設定はいかにあるべきかという問いに対して満足な解答が出れば本研究の目的は全うされたことになるが、そのためには、生態系の一員としての人間に対する富栄養化の影響の評価から、対策遂行による社会、経済への波及効果の吟味まで、非常に総合的な検討がなされなければならない。しかし現状では総合評価のサブモデルを構成する各部分について重要な情報が不十分な段階であり、従来報告されている総合評価の試みも問題提起の段階にとどまっているものがほとんどである。

末石<sup>1)</sup>、盛岡は富栄養化制御の対策について系統的な整理を行っており、よい参考になる。

また、原沢<sup>2)</sup>、内藤らは水質管理システムについて総説し、今後の検討課題をまとめている。平野<sup>3)</sup>、中田らは漁場環境影響評価にシステムマトリックス法、構造モデル法を適用することを検討している。

また水処理に要する費用やエネルギー消費に関する情報も徐々に整理されつつあり<sup>4), 5)</sup>、一方、水環境のアメニティーを重視する立場から海水浴場の価値を問いなおそうとする研究等<sup>6), 7)</sup>も多くなりつつある。

これらの情報をいかに総合して富栄養水域の水質管理を合理化していくかが本研究の今後の課題であるが、ここでは沿岸海域の富栄養化の目標設定のあり方とそのための対策に関する2、3の事例研究について述べるにとどめる。すなわち

Ⅳ－2章では富栄養化制御の目標設定の方法とその問題点について述べ

Ⅳ－3章では総量規制負荷配分の合理化について述べる。

Ⅳ－4章では富栄養化制御のための対策の大綱を整理するとともに、有機廃棄物の農地還元を行う場合の問題点について考察した。

### Ⅳ－2 富栄養化制御の目標設定

#### 2・1 研究目的

現在の水質保全行政は、海域においては、環境基準として設定されたCOD基準値を達成することを目標において進められている。この基準の制定からすでに10年を経た現在相当の情勢の変化もあり、基準値や線引の方法をそろそろ検討しなおす必要があるように思われる。たとえば瀬戸内海のA海域における環境基準達成状況をみると、昭和52年において、基準が達成できている水域の割合(達成率)は49%、A基準点の全検体数中基準を超える検体数の割合(非適合率)は20%と、B海域のそれぞれ、80%、15%、C海域の98<sup>8)</sup>

%, 7 %と比較して低調である。その原因は富栄養化による内部生産にあるものと考えられる。この基準の達成のためには相当の改善努力を要することから、COD 2 ppmの重味や基準のきめ方等について、もう一度科学的な検討を行う必要がある。

本章では海域の望ましい水質を考える上で重要な要素として、水産業と市民のリクリーションをとり上げ、その両面から沿岸海域の富栄養化制御の目標について検討を行った。

## 2・2 研究方法

水産業の面からは瀬戸内海の水産統計の収集解析と宇部地区の漁民へのアンケート調査を行い、リクリーションの面からは市民アンケート調査を実施した。

(1) 水産統計解析 水産統計の解析においては次の3点に着目した。

i) たんぱく生産の場の評価として、可食たんぱく生産量の経年変化をみる。

ii) 水産業の経済的評価として、漁業生産金額の経年変化を整理する。

iii) 水産業の経済効率や燃料消費の経年変化や地域比較から、瀬戸内海漁業の特性を明らかにする。使用した統計は、瀬戸内海漁業離別統計表、瀬戸内海沿岸各府県の農林水産統計年報<sup>10)</sup>、漁業経済調査報告<sup>11)</sup>などである。

① 可食たんぱく生産量 可食たんぱくは魚種別漁獲量より、食品成分表にいうところの廃棄率に対応する部分を除き、それぞれのたんぱく含量を乗じることにより求めた。さらに、かたくちいわしおよびいかなごについては大部分餌飼料にまわることを考慮して、その20%のみを計上した。なお参考までにN、Pの水揚負荷量も表IV 2-1に示すような方法で計算した。瀬戸内海については、昭和33、37、42、47、52年につき、また離別には昭和37年から52年の4年分につき計算を行った。以下、離区分は周防離、伊予離、広島湾を含む安芸離、備讃瀬戸を含むひうち離、播磨離、大阪湾、紀伊水道の7区分とし、豊後水道、ひびき離は除外した。

② 漁業生産金額 生産金額は瀬戸内海および各離について整理し、消費者総合物価指数を用いて昭和55年物価基準に補正して経年変化を比較した。計算は昭和37、42、47、52年について行ったが昭和47、52年については離別統計表に従い、昭和37、42年については、魚種別漁獲量に各魚種別単価を乗じて計算した。

③ 漁業の経済効率および燃料消費率 漁業経済調査(漁家の部)および同(企業の部)より、漁業の種類ごとに、あるいは海区ごとに所得率(漁業所得/漁業収入)、労働時間あたりの所得、漁獲量あたりの油消費量、生産金額に占める油費の割合の5項目について統計資料を整理し、次の2点についてまとめた。

i) 瀬戸内海における漁船漁家(10トン未満の動力船)とのかき養殖業について、上記諸指標の経年変化を求めた。計算年は昭和40、45、50、55年で、昭和50年物価基準に補正

して比較した。

ii) 瀬戸内海の各漁業種の漁業効率を他海域の漁業と比較するために、昭和 50 年について、所得率、労働時間あたりの所得、生産金額に占める油費の割合を計算した。所得は本来、漁業収入から漁業支出を差しひいたものであるが、ここでは支出のうち雇用労賃を所得または利益(企業所得)に繰り入れた補正所得で比較した。油消費量は油費と油価格(表 IV 2-2)より計算した。

表 IV 2-2 A 重油の価格 (円/ℓ)

## (2) 漁民アンケート調査

漁民自身が経験的に現状の水質富栄養度をどのように評価しているかを知るために、次に示すような簡単なアンケート調査を昭和 57 年 2 月に行った。対象は宇部市 8 漁協で、配布数は全組合員数の約 1/3 の 333 枚である。配布、回収を漁協に依頼する形をとったが、のりの多忙な時期ということもあって回収率は 26 % と低率に終わった。

噸 40	45	50	55
11.08	11.12	36.63	82.80

## 表 IV 2-3 漁民アンケート質問内容

あなたの行っている漁業の状態から判断して、宇部地先の水質はどうあって欲しいと思いますか。

- a, 現状のままでよい
- b, 現状より富栄養の方がよい
- c, 現状より貧栄養の方がよい

注) 富栄養: 海水中に窒素やりんなどの肥料成分が多く、植物プランクトンがよく繁殖する。

そのために漁獲量は大きくなるが、高級魚が減少して、低級魚が増加する。

また、ノリはやや富栄養気味の方がよくとれる。しかし、この傾向が過ぎれば、赤潮の発生など好ましくない状態になる。

## (3) 市民アンケート調査

市民が身近な水環境についてどのような認識をもち、瀬戸内海の富栄養化をどのように考えているかを明らかにするために、次に示す質問項目を主体とするアンケート調査を昭和 57 年 2 月に実施した。対象は宇部市内の全自治会長 568 人で回収率は 73 % である。

## 表 IV 2-4 市民アンケート質問内容 (一部)

### 1 宇部地先海域の水質目標について

水産業の面からみると魚はある程度海水の富栄養化が進んで汚れている方がむしろよくとれますが、汚れるにつれて、タイ、ヒラメなどの高級魚は減少し、イワシなどの低級魚が増加する傾向があります。

一方、海水浴などのリクリエーションの立場からすると、水はきれいなほどよいのは当然です。

また、現状より水をきれいにするためには、工場排水や都市下水の処理に更に多くの費用がかかることを覚悟しなければなりません。

さて、宇部地先海域の現状は、下表の C~D の間くらいにあるものと思われますが、あなたはどのような海であることを望みますか。一つを選んで○をつけてください。

	外 観	よくとれる水産物の種類	海 水 浴	透明度	イメージ
A	非常にきれい	魚はあまりとれない	非常に快適	10 m 以上	沖縄の海
B	きれい	タイ・ヒラメ・サザエ・アワビ	快適	5 ～ 10	日本海沿岸
C	普通～やや汚れている	キスゴ・エビ・タコ・イカ・ワカメ	普通～やや不快	3 ～ 5	瀬戸内海の比較的きれいな部分
D	汚れている	カレイ・イワシ・ボラ・ノリ・アサリ	不快	1 ～ 3	瀬戸内海のやや汚れた部分
E	非常に汚れている	ハゼ・ゴカイ・赤潮	不可	0 ～ 1	大阪湾や東京湾の奥部

- 1, 現状のままでよい
- 2, 現状よりきれいなBの程度がよい
- 3, 現状より少しきれいなCの程度がよい
- 4, 現状より少し汚れたDの程度がよい
- 5, 現状より汚れたEの程度でよい

注) 透明度：海面から白板を沈めていって、見えなくなるまでの深さ。海中での視界のようなもの。

## 2 海の利用について

2-1 あなたの御家族は昨年一年間で近く(瀬戸内海)に何度行きましたか。

海水浴 延べ( )人・回, 潮干狩 延べ( )人・回, 釣り 延べ( )人・回

## 2・3 研 究 結 果

(1) 水産統計解析結果 瀬戸内海および各灘の可食たんぱく生産量および物価補正した漁業生産金額等の推移を表IV 2-5, 図IV 2-1に示した。

昭和52年における瀬戸内海の可食たんぱく生産量は107トン/日であり、昭和47年の108トン/日よりほとんど横ばいの状態である。かたくちいわし、いかなどの20%しか計上していないことを考慮すれば、たんぱく生産効率の点からは、相当の富栄養レベルが望ましいということになる。灘ごとに見ると、昭和47年から52年に生産量が増加したのは、伊予灘、ひうち灘、播磨灘で、紀伊水道、大阪湾、周防灘、安芸灘では減少している。ちなみに先の107トン/日の可食たんぱくは、同年の日本人の動物性たんぱく摂取量37.3gと比較すると、約300万人分に相当する。これは沿岸漁業の省資源性からみれば重みのある量である。

一方漁業生産金額は昭和52年で約2,100億円であり、同年の工業出荷額約50兆円と比較して、0.5%にも満たない。物価補正後の経年変化の傾向は年々増加の傾向をみせ、昭和55年は昭和47年に対して7%の伸びを示している。灘別にみれば昭和47年から昭和52年にかけて、周防灘、ひうち灘で低下しただけで他はすべて増加している。

② N, P水揚負荷 通常に水産業が営まれているところでは、水揚げによる陸上からの流入負荷の回収率はNで6～10%, Pで8～15%であり、海面面積あたりの水揚負荷上限値はN 3～5kg/km<sup>2</sup>/日, P 0.4～0.6kg/km<sup>2</sup>/日程度である。

③ 漁業の経済効率および燃料消費率 瀬戸内海の沿岸漁船漁業(0～10トン)およびのり養殖業について、経済効率指標等の経年変化を図IV 2-2, 3に示す。

表Ⅳ2-1 可食たんばく、NP水揚量の算出方法

可食たんばく	水揚量×(1-廃棄率)×たんばく含量
N水揚量	
魚、たこ、いか その他水産動物	水揚量×たんばく含量×0.88*/6.25 *補正率 くるまえば 0.72 その他えび 0.81 かに、しゃこ 0.70
貝、うに	可食たんばく/6.25
かき(むき身)	水揚量×たんばく含量/6.25
のり	収穫枚数×2.5g/枚×たんばく含量/6.25
わかめその他	水揚量×たんばく含量/6.25
P水揚量	N水揚量×(P/N)* * $P/N = \frac{\text{可食部P含量} \times 1.21}{\text{可食たんばく含量} \times 0.88/6.25}$ ただし、くるまえば 0.14、その他えび 0.13、かに 0.21

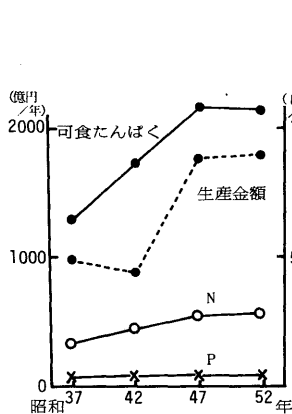
表Ⅳ2-6 漁業種類別の漁業経済効率等の比較(昭和50年)

	所得率 (%)	労働時間あたりの所得 (円/時間)	生産数量あたりの油費 (1/kg)	生産金額に占める油費割合(%)
瀬戸内海沿岸漁船漁業	69	780	0.98	6.9
0~1	76	590	0.57	3.8
1~3	73	640	0.82	4.4
3~5	67	890	1.09	8.7
5~10	63	950	1.17	9.8
瀬戸内海小型定置網漁業	64	740	0.27	2.7
瀬戸内海のり養殖業	50	450	0.40*	5.8
瀬戸内海かき養殖業	44	520	0.20	1.4
遠洋トロール漁業	32*	560		24
以西トロール漁業	35*	540		16
さけますはえなわ漁業	47	480		7.6
かつお一本釣漁業	32*	220		21
	*利益率		A 重油 36.63円/1	

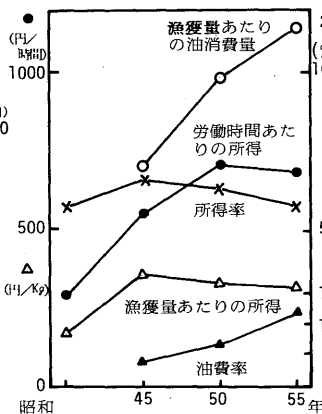
労働時間は陸上労働を含む。遠洋以下は1日=24時間とした。  
40g/枚としてのり1枚あたりの油消費は59銭、16ml  
所得=所得÷雇用賃金とした場合の所得率あるいは利益率である。

表Ⅳ2-5 瀬戸内海における可食たんばく生産量等

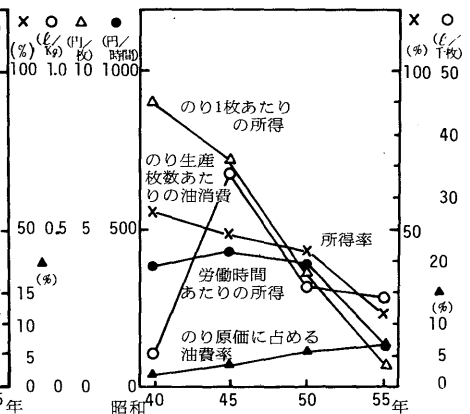
灘 昭和年	水 揚 量 (t/日)			水 揚 高 (億円/年)		
	可食たんばく	N 量	P 量	物 価 補 正 値	正 値	
紀伊水道	37	9.3	2.0	0.18	37	98
	42	16.5	3.2	0.39	42	87
	47	22.9	4.2	0.47	122	190
	52	20.0	4.2	0.51	273	231
大 阪 湾	37	8.7	3.6	0.42	45	120
	42	10.5	3.6	0.41	40	83
	47	10.7	3.3	0.44	62	96
	52	10.1	4.2	0.53	132	112
播 磨 灘	37	11.1	3.7	0.60	61	164
	42	16.7	5.9	1.04	79	163
	47	20.3	6.4	1.11	224	348
	52	23.2	6.7	1.02	437	370
ひうち灘	37	14.2	3.4	0.33	92	246
	42	15.9	4.4	0.53	102	210
	47	21.6	7.6	0.95	304	473
	52	21.7	7.0	0.78	494	418
安 芸 灘	37	8.7	1.8	0.25	34	90
	42	11.9	2.2	0.24	81	167
	47	10.2	1.9	0.21	126	196
	52	9.9	2.2	0.24	257	218
伊 予 灘	37	5.8	1.4	0.12	32	85
	42	6.3	1.7	0.17	38	79
	47	8.8	2.3	0.24	105	163
	52	11.6	2.8	0.30	231	196
周 防 灘	37	7.1	1.4	0.19	68	181
	42	8.3	1.6	0.16	46	95
	47	13.5	2.5	0.22	197	306
	52	10.5	2.0	0.20	299	253
合 計	33	57.8	16.4	2.11	367	984
	37	64.9	17.4	2.09	429	883
	42	86.1	22.6	2.94	1141	1775
	47	108.0	28.2	3.64	2123	1798
	52	107.0	29.1	3.58	2602	1897



図Ⅳ2-1 瀬戸内海の可食たんばくおよびN、Pの水揚量と漁業生産金額(昭和50年物価基準に補正)の経年変化



図Ⅳ2-2 沿岸漁船漁業の漁業経済効率等



図Ⅳ2-3 のり養殖の経済効率等



i) 未補正の所得率は漁船漁家で昭和45年が最大であるが、変化はあまり大きくなく、60%前後の比較的高い値で安定している。労働時間あたりの所得では昭和50年が最大で昭和55年は頭打ちとなっている。一方のり養殖業では所得率は昭和40年が最大でその後低下し、昭和55年には約23%の低値となっている。また労働時間あたりの所得も昭和55年には落ちこみが大きい。のりは雇用労賃の比率も高いので、この点を考慮して、所得にこれを加算しても、これらの数値は1.5倍程度にしかならず、のり養殖がさほど有利な事業ではなくなっていることを示している。

ii) 燃料消費率は漁船漁家で増大が著しく、魚原価に占める油費の割合も昭和55年には12%にも達している。この原因は先に示した石油価格の高騰と漁船の大型化にあるものと考えられる。これに対して、のり養殖では昭和45年以降、燃料消費率は減少し、のり原価に占める割合は昭和55年で6%程度となっている。

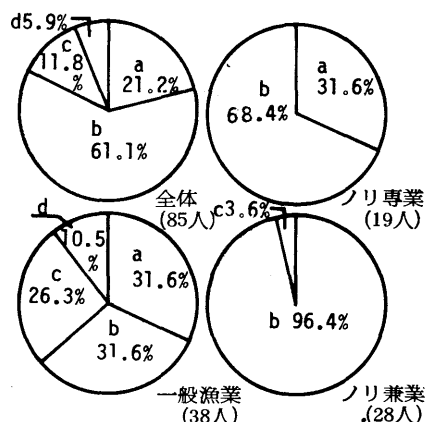
iii) 漁業種類別経済効率等の比較 表Ⅳ2-6は瀬戸内海区を中心に昭和50年における各漁業種類別の漁業効率を比較したものである。

まず所得率の比較では沿岸漁船漁業、小型定置網で60%以上と大きく、養殖業、遠洋漁業ではそれらと比較してかなり低い数字になっている。将来が期待されている養殖漁業も漁業経済の上からみると、雇用労賃を加えた補正所得率でものりで50%、かきで44%と漁船漁業の79%と比較してさほど効率のよいものではないことは注目される。

沿岸漁船漁業では1kgの魚を獲るのに約1ℓの石油を消費している。遠洋トロール以下については漁獲量あたりの油消費量は示されていないが、昭和33年の統計では沿岸漁船漁業で1kgあたり0.224ℓの石油消費量に対し、捕鯨および外洋漁業では当時でも1.56ℓ/kgと大きな差があった。また昭和50年において魚原価に油費の占める割合も沿岸では7%前後であるのに遠洋トロールでは24%と非常に大きいものとなっている。小型定置網では、漁船漁業と比較して油の消費率はさらに小さくなっている。沿岸漁業がこのような省資源性を有することは注意しておく必要がある。

## (2) 漁民アンケート調査結果

対象とした宇部地先海域は周防灘の中奥部にあ  
る富栄養海域で、環境基準A類型の適合率がやや  
悪い。8漁協のうち東の2漁協は工場排水の改善  
もあってかなり早い時期からのり養殖は行われて



a. 現状のままでよい b. 現状より富栄養の方がよい c. 現状より貧栄養の方がよい  
d. 無回答

図Ⅳ2-4 漁民アンケート調査結果  
(宇部市8漁協)

いないが、これらを除くと釣り養殖の比重が大きい海域である。宇部市全体では昭和51年において一般海面漁業30億円、釣り22億円の生産金額があった。

調査結果をみると、釣り養殖をする人は専業で68%、釣り以外の漁業も行う兼業で96%の人が現状より富栄養を望んでいる。釣り養殖をする人で現状より貧栄養を望む人は45人中1人だけであり、釣りに肥料を投入する状況があることとよく符合した結果となっている。一方、釣り養殖以外の漁業を行っている人は32%が現状より富栄養を、32%が現状のままを希望し、現状より貧栄養を望む人も26%ある(図IV2-4)。

これらの結果はほぼ予想通りのものであるが、漁業者自身、富栄養化を肯定する意見がかなり強いことは事実であろう。

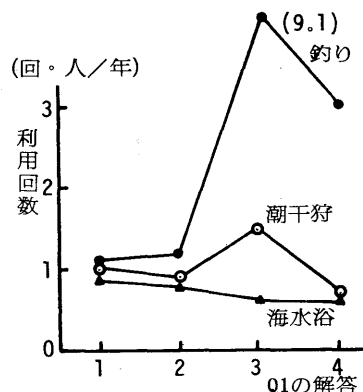
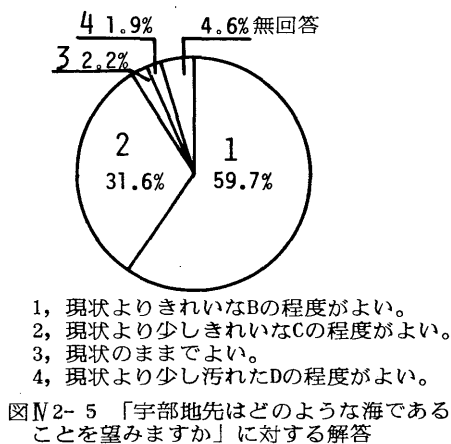
### (3) 市民アンケート調査結果

まず、宇部地先の水質はどうあってほしいかという問いに対しては、「現状よりきれいなBの程度がよい」と答えた人が全体の60%を占め、「現状よりややきれいなCの程度がよい」と答えた人が32%で、合わせて91%の人が現状よりきれいな海を望んでいる。

次に一年に何回近くの海を利用したかについては、平均して市民1人あたり海水浴0.9回、潮干狩り1.0回、釣り1.4回、散歩・ドライブ2.5回であり、合わせて約6回利用している。(図IV2-5)

図IV2-6は第1問の解答例に、海の利用回数を整理したものであるが、海水浴に利用する人はきれいな海を望む傾向が強く、潮干狩りや釣りに利用する人は現状程度の海で満足している傾向がよく表われている。

また、近くに海水浴場があることを望むかという問いに対する答えをみると、「強く望む」が21%、「望む」が58%となっており、市民の身近な海水浴場に対する期待はかなり大きいものと理解される。



第1問で、現状よりきれいなBの程度の海を選んだ人と、現状よりややきれいなCの程度の海を選んだ人が、「自分達の家庭下水が川や海の水質を汚していることを日頃意識していますか」という質問に対して、「意識していない」あるいは「どちらかといえば意識していない」と答えた人の割合はBを選んだ人で13.3%、Cを選んだ人で8.4%となっており、Bを選んだ人よりもより現実的なCを選んだ人の方が環境に対する意識がしっかりしていることを示している。

以上のアンケートの結果は対象が自治会長であるということで、若干偏った結果になっている可能性もあるが、ある意味では責任ある市民の声を聞くことができたのではないかと考えられる。

#### (4) 瀬戸内海の富栄養化水質目標

これまで述べてきたことを総合して、瀬戸内海の富栄養化に関する水質目標について考察してみるが、まず本章の成果を以下に要約すると

① 水産統計解析を行い、可食たんばく生産量、漁業生産金額の上から判断すると、現状程度の富栄養度が最適に近いのではないかと考えられる。このことは漁民アンケート調査からもある程度裏づけられた。

② 市民アンケートの結果より、市民は瀬戸内海を快適な海水浴が楽しめるきれいな海であることを望む人が多く、大部分の人が、身近なところに海水浴場があることを望み、子供が自然と親しめる水辺が必要であると考えていることがわかった。

③ 本来の沿岸漁業は省資源性を有しており、この意味から省エネルギー性を生かしながら、食料生産場としての活用を積極的にはかっていくべきであると考えられる。

このように水産業からみた望ましい富栄養度とリクレーション面からみた望ましい水質目標の間にはかなりの差がある。その両立の可能性については、離レベルあるいは地域レベルでの水質予測技術の向上や総合的な検討にまたなければならないが、本章において得られた情報から判断する限りにおいては、瀬戸内海の富栄養化に関する水質目標を現状よりやや貧栄養のところにおくことについては大方の意見の一致が得られるものと考えられる。

### 2・4 環境基準に関する2,3の考察

現在の水質管理体制において、環境基準の果たす役割は非常に重要なものであり、それだけにその設定は十分な科学的根拠と国民的合意のもとに行われるべきものである。

ここで、富栄養化に係る環境基準に関連して重要な2,3の点を挙げて考察する。

① 市民自身による環境の目標設定 前項で述べたように沿岸海域の水質目標は、要は情操、リクレーションからみた白砂青松の海か水産業からみた生産性豊かな海かどちら

を選択するかによって決まってくるが、前者の立場からの評価にはとくに市民自身の適正な判断が必要である。しかし、近代的な上下水道システムが普及した現在において、市民は水環境に疎遠になりがちで、ことに日常生活で接することの少ない海の水環境については関心がうすい傾向がある。さしづめ身近な水環境への関心を高め、市民自身が望ましい環境目標を設定して、その実現に積極的に協力するような体制が形づくられる必要があろう。

② 水域区分による水質管理の問題点 現在の環境基準は海域を用途別に区分して、現状との調和をはかっていくという考え方にたって設定されている。たとえば、C海域は臨海工場や都市の港湾専用水域として日常生活に支障のない程度の汚濁が許容されている。また、離レベルや内海全体の漁業生産性からみても、こうしたC海域を設けることは現実的な方法であると考えられる。

しかしながら、都市が安易な環境目標を掲げて悪質な環境に甘んじてしまうことが環境問題にとって実は重大な意味をもっていることを認識しておく必要がある。なぜならば環境を犠牲にした都市の物質的繁栄が農村の衰微につながり、健全な国土の保全を困難なものとしていると考えられるからである。本来は都市も良質な環境目標を掲げて、環境コストを正當に負担すべきであり、そのことによって都市と農村の不均衡を是正し、国土環境の保全をはかっていく必要がある。このような意味から環境基準の設定にあたっては、まず純粋に生態学的な立場から検討を行い、次の段階で経済性を考慮して現実社会との妥協をはかっていくべきであると考えられる。

③ COD環境基準の具体的な問題点 現行のCOD基準について注意すべき点は

i) A海域について 先のアンケート調査からも明かなように市民の身近な海水浴場に対する期待は大きい。快適な海水浴には少なくとも5～6mの透明度が要求される。これをCODに換算すると1.5 ppm程度に相当し、もし快適な海水浴を保障するとすれば、従来のA基準値2 ppmではやや不十分であること、

ii) C海域について C基準値は8 ppmであるが、達成率もよく、C海域に隣接するB海域の基準値3 ppmとの関係や、市民にとって重要な水環境である河川感潮部の水質との関係を考慮すれば、少なくとも5 ppm以下に改めるべきであることなどである。

IV-1にも述べたように富栄養化制御の目標設定にはなお幾多の情報を蓄積して総合評価することが必要である。環境基準の吟味は困難な課題であるが、市民や行政の関心を高めるために、適切な判断資料を提供していくことは研究者の責務であると考えられる。

## Ⅳ－３ 総量規制負荷配分の合理化に関する研究

### ３・１ 研究目的

環境の目標が決定され、その目標達成のために必要な汚濁負荷削減量が算出された場合、その削減量を各発生源に対してどのような方法で割り当てるべきか。本章では、工場群へのCOD削減量の割り当てという問題を例にとって、この配分方法の合理化について検討を行った。従来の配分方法は各工場に一律、一定割合の削減を行わせるか、せいぜい規模の大きい工場にやや重味をもたせる程度のものである。これまでに、一応の対策がなされ、エネルギーコストの高騰などにより公害防止費用が経営の圧迫要因となっているといわれる状況から、<sup>1)</sup> 今後の水質改善対策には科学的合理性はもとより、経済的合理性や公平性が強く求められるようになってきている。本章ではこのような状況をふまえて、

- i) 各発生源における公害防止のための努力度を評価する合理的な方法を考案する。
- ii) 努力度を考慮に入れた合理的な汚濁負荷削減量の配分方法がある工場群についてあてはめ、その実用性について検討することを目的とした。

### ３・２ 研究方法

研究は各発生源の公害防止努力を評価し、経済性と環境の側からみた公平性を考慮して削減負荷を配分するという立場から概略以下のような方法によって行った。

- i) 経済性と水質改善の実効性の両方を考慮した努力度の評価方法を検討する。
- ii) 工場排水の処理費用と除去効果に関する情報をアンケート調査、聞きとり調査等により収集する。
- iii) 仮想の工場群について、数通りの方法によって削減負荷量を各工場へ配分し、地域全体の処理費用を試算することにより、配分方法の良否を検討する。
- iv) 先に採用した努力度指標を宇部地区の工場排水と都市下水について算出して比較し、本指標の合理性を調べ、一般化の可能性を検討する。

### ３・３ 研究結果

(1) 努力度指標 発生源においては、環境へのインパクトの大きさに比例した公害防止努力を行っていなければならないという考え方から、努力度指標として次式を提案する。

$$\text{努力度指標 (EI)} = \frac{\text{排水処理費用}}{\text{正味排出負荷}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

努力度としては、この他に負荷削減実績、除去率、排出負荷原単位の推移、出荷額あるいは純益あたりの排水処理費用などいろいろなものが考えられるが、いずれも一般性、公平

性の観点からは問題がある。

(1)式においては、環境へのインパクトの大きさとして正味排出負荷量をあて、公害防止努力に排水処理費用をあてている。この努力度指標の考え方は正味排出負荷量という環境悪化寄与度に応じた社会的責任を排水処理費をかけるという形で果たすべきであるというものであり、環境の側からみた努力度といってよい。排水処理費用をかけて正味排出負荷を減ずれば努力度指標は大きくなり、また別に費用をかけなくても、製造工程の改善その他で効率よく正味排出負荷を減ずるだけでも努力度指標を大きくすることができる。

## (2) 工場群へのCOD削減負荷の配分<sup>2)</sup>

山口県が行った排水処理費用に関するアンケート資料をもとにして、11の工場群よりなる架空の地域を想定し、削減すべき負荷量を仮定してその配分方歩の合理化を検討した。

### ① 計算方法 具体的な計算方法は以下のとおりである。

i) COD正味排出負荷および除去負荷 正味排出負荷および除去負荷は次式より求めた。 正味排出負荷＝みかけ排出負荷－原水負荷 …………… (2)

除 去 負 荷＝発生負荷＋原水負荷－みかけ排出負荷 …………… (3)

原水負荷は海水中のCOD  $2\text{ mg/l}$ 、淡水  $1\text{ mg/l}$ にそれぞれの使用水量を乗じて求めた。

ii) COD除去費用 山口県が行った調査から、昭和45年から49年にかけて設置された排水処理施設の建設費、耐用年数および運転費をもとにして、解答された運転費には減価償却費は含まぬものとして、処理費用を以下の方法でまず計算する。

すなわち、建設費はすべて借入金によるものとし、減価償却は、残存簿価10%とする定率法にて行い、減価償却＋利息を一旦、最初の原価に換算したのち、毎年同一額払いにひきなおした。

いま、建設費をP円、耐用年数n年の処理施設を設置したとき、毎年の返済額C円は上述の計算方式によって次式で表わされる。

$$C = P \left\{ 1 - (1 - d)^n \cdot (1 + i)^{-n} \right\} \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \dots\dots\dots (4)$$

$$(1 - d)^n = 0.1$$

d：償却率（定率）

i：利率ただし  $n < 10$  のとき  $i = 0.07$

$n \geq 10$  のとき  $i = 0.10$

かりにある工場において、昭和45、48、49年にP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>円の施設の建設がなされた場合、表IV 3－1に示すような手順でその工場の各年の排水処理費を算出する。最後は昭和49年に物価補正を行った。

iii) COD除去費用曲線 一般に処理程度が高くなれば、単位除去負荷あたりの処理費用も増加すると思われるので次式をあてはめる。

$$y = ax^b \quad \dots\dots\dots (5) \quad y : \text{処理費用(千円/日)}, x : \text{除去負荷(kg/日)}$$

a, b : 工場ごとに定まる係数,  $a > 0, b > 1$

前項で算出した排水処理費用とCOD除去量を図IV 3-1のようにプロットし、最小自乗法にて各工場のa, bを決定する。

iv) 削減負荷の配分 次の4通りの方法によって、与えられた削減負荷を各工場に配分し、地域全体の処理費用を試算した。

仮定の11工場群の負荷、処理費のデータは表IV 3-2にまとめるとおりである。各方法とも制約条件として、各工場の現在の処理の程度は低下させないこと、削減限度は除去率100%とし、電算機により処理した。

a) 山口県規制方式による配分 山口県の総量規制式<sup>5)</sup>にしたがって、 $\sum_i q_i$  が設定した環境容量となるようにkを算出し、各工場で新たにかかる処理費用を合計する。

$$q_i = k \cdot f_i \cdot S_i (Q_i \times 10^{-3})^{0.9} \times 10^{-3} + S_* \cdot Q_i \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに  $q_i$  : i工場のCODみかけ排出負荷量 (t/日)

k : 地区係数  $f_i$  : i工場の特殊性を考慮する補正係数 (= 1.0)

$S_i$  : 上乗せ排水基準COD (ppm)  $Q_i$  : 排水量 ( $m^3$ /日)

$S_*$  : 原水COD (= 1 ppm)

b) 費用最小化による方法 この考え方は地域の環境容量を達成するために要する地域全体の処理費用を最小にするように削減負荷を配分するものである。

すなわち、単位削減負荷量 $\Delta x$ を削減するのにかかる費用がもっとも経済的な工場へ、 $\Delta x$ ずつ配分する操作を環境容量が満足されるまでくりかえす方法である。

c) 除去率均等化による方法

この方法は、 $\Delta x$ を除去率のもっとも低い工場に、環境容量が満足されるまで逐次配分するものである。

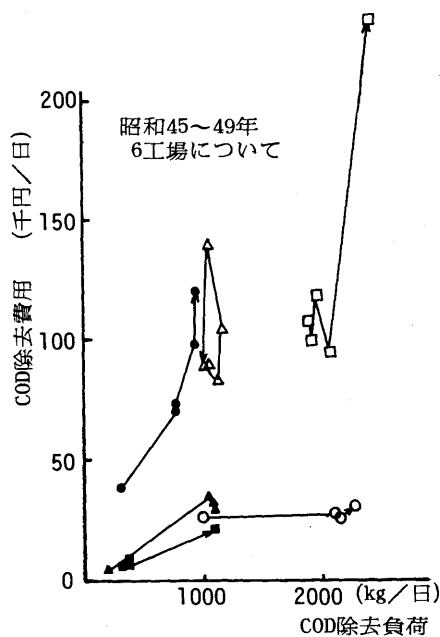
d) 努力度均等化による方法

この方法は先に述べた、正味排出負荷あたりの処理費用を努力度の指標として、これがもっとも低い工場から、 $\Delta x$ を配分するという操作を環境容量が満足されるまでくりかえしていき、配分終了後の各工場の努力度をできるだけ均等化させようというものである。

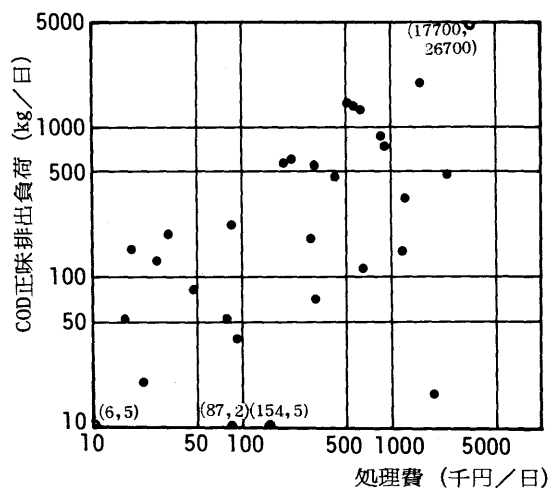
すなわち、各工場の努力度指標の標準偏差を最小にすることを目的にするが、現状処理レベルを低下させない制約条件があるので、実際には努力度指標の低いところから順次

表Ⅲ-1 排水処理施設に係る減価償去費および利息の計算

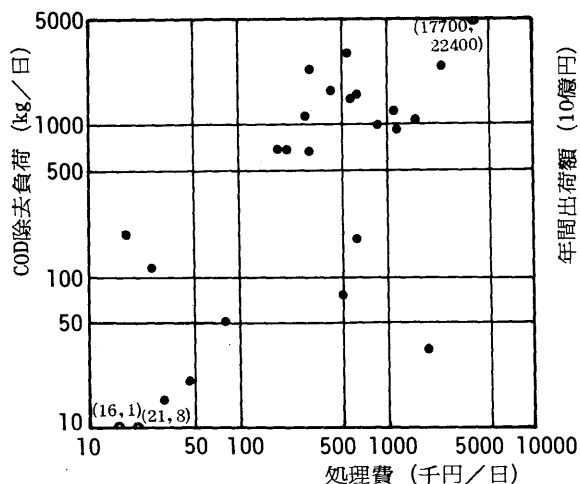
昭和 年	建設費	減価償却費及び支払利息 各施設	全施設	運転費	処理費 (物価補正前)	物価補正 係数
45	$P_1$	$C_1$	$C_1$	$D_1$	$C_1+D_1$	1.52
46	-		$C_1$	$D_2$	$C_1+D_2$	1.53
47	-		$C_1$	$D_3$	$C_1+D_3$	1.52
48	$P_2$	$C_2$	$C_1+C_2$	$D_4$	$C_1+C_2+D_4$	1.31
49	$P_3$	$C_3$	$C_1+C_2+C_3$	$D_5$	$C_1+C_2+C_3+D_5$	1.00



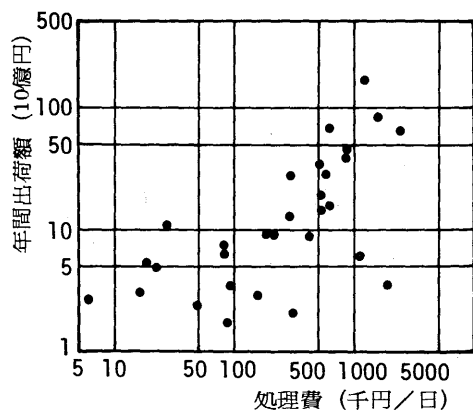
図Ⅲ-1 COD除去負荷と除去費用



図Ⅲ-2 排水処理費とCOD正味排出負荷の関係



図Ⅲ-3 排水処理費とCOD除去負荷



図Ⅲ-4 排水処理費と年間出荷額の関係



△x ずつ配分を行っていく。

たとえば i 工場へ△x 配分後、努力度指標は

$$E_i^0 = C_i^0 / X_i^0 \quad \text{から} \quad E_i^1 = (C_i^0 + \Delta C_i^1) / (X_i^0 - \Delta x) \quad \text{に変化する。}$$

ここに  $C_i$  : 処理費用,  $X_i$  : 正味排出負荷量 …………… (7)

なお△x は 10 kg COD / 日として計算した。

② 計算結果 i) 排水処理費用と正味排出負荷, 除去負荷, 年間出荷額の関係

図 IV 3-2 に, 昭和 49 年における山口県内の一部の工場について, 排水処理費用と正味排出負荷の関係を示した。図 IV 3-3 には同様に, 排水処理費用と除去負荷の関係を示した。また, 排水処理費用と年間出荷額の関係を図 IV 3-4 に示した。

図 IV 3-2 は先述したように環境の側からみた各工場の努力度のばらつきを表わしている。ほとんどの工場が正味排出負荷 COD 1 t あたり, 3 万～50 万円の処理費用をかけている。

図 IV 3-3 は COD 除去の難易度のばらつきを表わしている。COD の除去単価は, t あたり 20 万～200 万円の範囲がほとんどである。

図 IV 3-4 は排水処理費用の経営圧迫度あるいは製品の水質汚濁性を表わしているが, 排水処理費用の出荷額に占める割合はもっとも大きいところで 15% 程度にものぼる工場があるが, 大半が 0.5～2% の程度である。

ii) 削減負荷の配分結果 表 IV 3-3 は環境容量を 10 t COD / 日としたときの各工場の要削減負荷量とそれに要する処理費用を計算した結果である。

現状 13.8 t / 日から 3.8 t / 日を削減するに要する地域全体の処理費用は, 県規制方式では, 現状 857 万円 / 日から新たに 2,537 万円 / 日要することになる。

これに対して費用最小化による方法では, 新たに要する処理費用は 517 万円 / 日と約 5 分の 1 で済む。

努力度均等化の方法では, 新たに要する処理費用は 1,111 万円 / 日と計算され, 費用最小化方式の 2 倍弱, 県規制方式の 0.44 倍と, まずまずの経済性をもつことがわかる。

除去率均等化の方法では, 9,590 万円 / 日と他の方法と比較にならぬほど経済性が劣り, 合理的な方法とはいえない。

図 IV 3-5 は 4 方式について, 環境容量を変化させてみた場合の新たに必要とする排水処理費用を計算した結果を図示したものである。この図からわかるように, 環境容量が小さくなれば, 処理費は加速度的に増大する。

全体的にみて, 努力度均等化の方法は経済性の点からみて県規制方式と費用最小化の方法の間にあり, 環境の面からみた合理性に加えて実用性も高い方法であると評価される。

表Ⅳ3-2

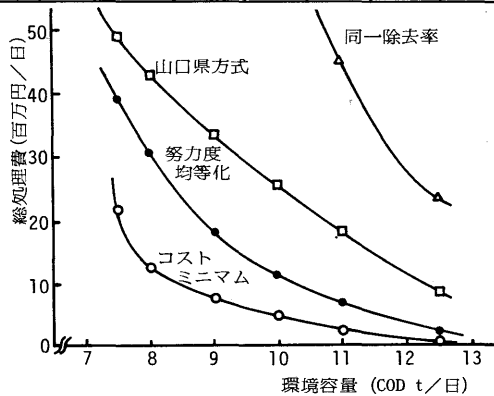
仮想工業群の C O D 負荷と除去費用等

工場 NO.	流 量 ( $\text{m}^3/\text{日}$ )	上乗せ 基 準 ppm	現状濃度 ppm	原水負荷 kg/日	発生負荷 kg/日	除去負荷 kg/日	排出負荷 (みかけ) kg/日	排出負荷 (正 味) kg/日	除去率 (%)
1	278000	20	7.0	510	1503	75	1938	1428	5.0
2	59000	40	11.4	62	1696	1085	673	611	64.0
3	4400	20	17.5	4	2359	2286	77	73	96.9
4	1140000	10	3.7	2214	3037	1081	4170	1956	35.6
5	3000	60	53.6	3	345	190	158	155	55.1
6	353000	10	2.9	688	1255	921	1022	334	73.4
7	405000	10	3.8	784	1735	989	1530	746	57.0
8	52000	40	28.0	88	2841	1482	1447	1359	52.2
9	1014000	10	2.4	1968	2877	2395	2450	482	83.3
10	38000	20	4.0	39	289	177	151	112	61.3
11	6300	40	29.9	7	1290	1109	187	180	86.0
計	3352700			6367	19227	11754	13803	7430	

NO.	年 間 出荷額 百万円	処理費 千円/日	処理費の 割 合 %	除去単価 千円/t	努力度 指 標 千円/t	除 去 費 用 の 係 数	
						a	b
1	32922	513.7	0.58	6850	360	$0.13 \times 10^{-1}$	1.46
2	8923	212.2	0.87	200	350	0.17	1.02
3	1960	304.9	5.68	130	4180	$0.81 \times 10^{-2}$	1.36
4	79964	1557.5	0.71	1440	800	0.10	1.38
5	5211	18.0	0.13	100	120	$0.30 \times 10^{-1}$	1.22
6	158636	1206.0	0.28	1310	3610	$0.44 \times 10^{-4}$	2.49
7	47447	898.2	0.69	910	1200	$0.98 \times 10^{-1}$	1.31
8	27877	576.5	0.76	390	420	$0.82 \times 10^{-5}$	2.48
9	62200	2363.2	1.39	990	4900	$0.69 \times 10^{-8}$	3.40
10	67515	628.9	0.34	3550	5610	$0.72 \times 10^{-36}$	17.35
11	12228	287.5	0.86	260	1590	$0.98 \times 10^{-16}$	6.06
計	504883	8566.6					

表Ⅳ6-3 削減負荷の配分結果

NO.	現 状			コストミニマム		努力度均等化			同一除去率		山口県方式	
	除去量	処 理 コスト	Ei	削減量	処 理 コスト	削減量	処 理 コスト	Ei	削減量	処 理 コスト	削減量	処 理 コスト
1	75	514	0.36	0	0	270	5872	5.51	1083	37698	704	20839
2	1085	212	0.35	611	124	550	112	5.32	220	44	137	28
3	2286	305	4.18	73	13	20	4	5.83	0	0	50	9
4	1081	1558	0.80	848	1851	1160	2622	5.25	1260	2878	1328	3054
5	190	78	0.12	155	19	150	19	7.32	80	10	107	13
6	921	1206	3.61	0	0	70	218	5.40	50	153	77	241
7	989	898	1.20	746	879	480	549	5.44	350	394	454	517
8	1482	577	0.42	1270	2092	980	1449	5.34	710	943	974	1438
9	2395	2363	4.90	0	0	23	72	5.50	0	0	-98	-282
10	177	629	5.61	0	0	0	0	5.61	50	53775	-48	-724
11	1109	288	1.59	100	195	100	195	6.00	0	0	118	239
合計	11754	8568		3803	5173	3803	11112		3803	95895	3803	25372
標準偏差		1.96						0.56				

図Ⅳ3-5 環境容量と  
排水処理追加費用

また費用最小化の方法は地域全体の経済性、省資源性の点から望ましいものであるが、実際の運用にあたっては相当難しい調整が必要である。もしその処理費用を各工場の排出負荷量比に応じて供出させるというような方法がとれば経済的にみた最善の方法であるといえる。

### (3) 工場群と生活下水関係の努力度指標の比較

表Ⅳ 3-4 に宇部市の昭和 49 年度における生活下水の処理費用の試算を行い、先に述べた努力度指標を計算した結果を表Ⅳ 3-5 に示した。発生負荷、排出負荷等は原単位計算により推定した。

下水処理、し尿処理、浄化槽など総括してみると、COD 除去単価は COD 1 t あたり、47 万円、努力度指標は約 50 万円 / t COD と計算された。表Ⅳ 3-6 に工場群（9 協定工場）の努力度指標との比較を示したが、工場排水では 120 万円 / t COD と COD あたりでは工場群の方が 2 倍以上の努力をしていることがわかる。しかし当地区においては、N、P の排出負荷が大きいため、たとえば COD、N、P を次式で TOD へ換算し、TOD 正味排出負荷あたりの排水処理費用で比較してみると、同表に結果を示すごとく、生活下水系が 61 千円 / t TOD、工場排水が 86 千円 / t TOD となる。

$$L_{TOD} = 3 L_{COD} + 19.7 (\beta_N / 2) L_{TN} + 143 (\beta_P / 2) L_{TP} \quad \cdots \cdots (8)$$

$$\beta_N = \frac{3 \emptyset_{COD}}{19.7 L_{TN}} \quad \cdots \cdots (9) \quad \beta_P = \frac{3 \emptyset_{COD}}{143 L_{TP}} \quad \cdots \cdots (10)$$

$$\emptyset_{COD} = L_{COD} \times (\overline{\Delta COD} / \overline{CODmin}) \quad \cdots \cdots (11)$$

$L_{TOD}$  : TOD 換算正味排出負荷 (t/日),  $L_{COD}$  : COD 正味排出負荷 (t/日)

$L_{TN}$ ,  $L_{TP}$  : TN, TP の正味排出負荷 (t/日),  $\beta_N$ ,  $\beta_P$  : N, P 負荷の TOD 負荷への変換率,  $\emptyset_{COD}$  : COD 生産負荷 (t/日),  $\overline{\Delta COD}$ ,  $\overline{CODmin}$  : 当該水域環境基準点の  $\Delta COD$  (mg/l) および  $CODmin$  (mg/l) の平均値。今回の場合昭和 48 年度実績より  $\overline{\Delta COD} = 1.42$ ;  $\overline{CODmin} = 0.49$  であり、その比率は 2.9 を用いた。

このように N、P を考慮しても、工場排水の努力度の方が生活下水系のそれよりも大きく、最近生活下水対策が注目されてきている事情と一致した結果となっている。

一般には生活下水系においては、工場ほど厳しく経済性が追求されないので、実質的には両者の努力度の差はより大きいものであり、家庭における水質改善努力がさげられるゆえんである。

### 3・4 総量規制の合理化の問題点と今後の方向性について

上述した削減負荷配分モデルの構造をわかりやすくまとめてみると、図Ⅳ 3-6 のようになる。このような検討は環境容量が合理的に決められたという前提の上のものであり、

表Ⅲ3-4 生活下水の処理費 (宇部,昭和49年)

対象人口	処理費	1人1日当りの費用	
人	千円/日	円/人・日	
下水 東部	57,400	274.1	4.8
処理 西部	24,600	246.8	10.0
小計	82,000	520.9	6.4
し尿処理	108,000	479.9	4.4
し尿浄化槽	8,000	148.0	18.5
合計(平均)	159,000	1,148.8	(7.2)

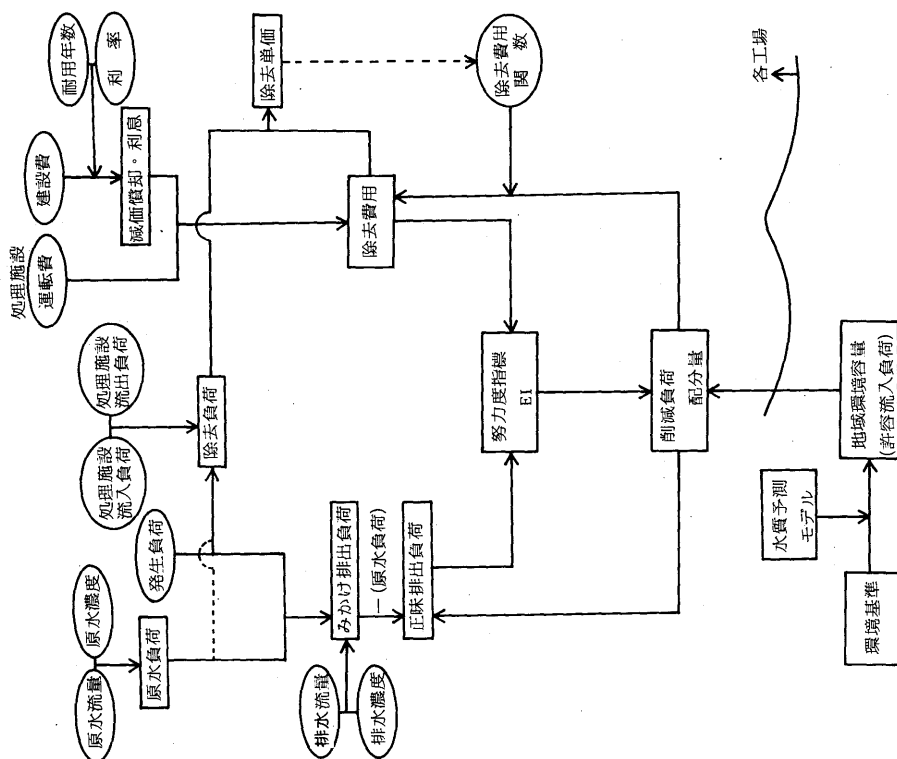
表Ⅲ3-5 宇部市における生活下水のCOD負荷と処理費 (昭和49年)

	除去負荷	排出負荷	処理費	処理費/正味排出負荷	処理費/除去負荷
	kg/日	kg/日	千円/日	千円/t	千円/t
下水 東部	672	224	271.4	1,234	408
処理 西部	307	77	246.8	3,205	804
小計	979	301	520.9	1,731	532
し尿処理	1,239	219	479.9	2,191	387
し尿浄化槽	72	48	148.0	3,083	2,056
無処理	141	1,751	0	0	0
合計(平均)	2,431	2,319	1,148.8	(495)	(473)

表Ⅲ3-6 生活下水と工場排水の処理努力度の比較

	原水負荷	みかけ排出負荷	正味排出負荷	処理費	処理費/正味排出負荷
	kg/日	kg/日	kg/日	千円/日	千円/t
生活下水					
COD			2,320	1,149	495
N			909		1,264
P			192		5,984
TOD			50,600		22.7
工場排水					
COD	4,200	8,450	4,250	5,002	1,178
N	3,600	10,300	6,710	4,149	977
P	203	654	451		746
TOD	109,600	315,800	206,200		619
					11,090
					9,200
					24.3
					20.1

TOD=2.26COD+19.7N+143P  
 工場排水 上段：処理費再計算値  
 下段：クアンケート値



図Ⅲ3-6 努力度指標を導入した削減負荷配分モデルの概要

地域によってそれぞれの水域に応じた環境基準がまず設定されなければならない。次の段階で、水質予測モデルや割り戻しモデル<sup>6)</sup>によって、地域における負荷削減目標が求まる。

本章の配分方法の問題点を整理すると以下ようになる。

① COD, N, Pの相互評価について 本章では一応COD負荷の削減について主に論じたが、実際にはN, P負荷が海域のCODに影響を与えるし、またCODの除去にともなってN, Pも同時に除去されることも多い。前節においてこれらの相互評価の一例を述べたが、この合理性に関してはなお検討の余地がある。

② 排水処理費用について i) 排水処理施設と生産設備としての有効成分回収施設の区分が困難な場合があるが、排水規制がなければそのまま放流した方が有利である場合は処理施設、回収した方が企業として有利である場合は生産施設とみなし、処理施設において副産物の売上げがある場合は処理費用から差しひくべきである。

ii) 排水処理費用として一括して数字が示された場合、減価償却や支払い利息あるいは人件費が含まれたものか注意をする必要がある。また各項目に区分して示された場合でも減価償却や利息の計算方法、用地取得費の有無、人件費や諸雑費の扱いなどの点について吟味が必要である。

iii) COD除去費用関数、すなわち除去費用の予測方法にはなお検討の余地がある。

iv) 処理費用や処理効率に関する情報収集は一般には困難であるが、公害行政の合理化をはかる上で、このような検討は非常に重要である。

③ 削減すべき負荷をどこにわりあてていくかということは、環境の目標設定とともに、重要な問題であり、汚濁負荷発生源の構造を変化させることにつながっていくものである。

したがって、その配分方法は、単に経済的効率性の面からのみではなく、発生源構造の改善に導くような配慮が十分になされる必要がある。

④ 今後の具体的な課題としては次のようなものがある。

i) 本章に述べたような考え方を大気汚染その他の公害にも適用していく。

ii) 処理費の内容を吟味し、エネルギー使用量やそのコスト、さらには処理に必要な資材の生産や運搬等の段階も含めた全エネルギー使用量についても検討する。

iii) 製品の生産に係わる公害の未然防止のためになされるべき努力の上限値を検討し、生態学的コストの試算を行う。

などである。

## Ⅳ－４ 富栄養化制御の基本的対策

### ４・１ 研究目的

本章の研究目的は i) これまで述べてきた富栄養化機構の理解の上に立って、富栄養化制御のための対策の大綱を整理し、ii) 基本的対策の一つである有機廃棄物の農地還元を推進する際の問題点を明らかにすることである。

### ４・２ 研究方法

#### (1) 富栄養化制御対策の大綱

富栄養化対策の系統的な整理は末石らによってまとめられているが、ここでは第Ⅲ部までに述べてきた順序に従い、まず陸上における対策と水域に入ってから<sup>1)</sup>の対策に大別し、前者はさらに発生、排出、流達の各段階ごとに分けて、対策のフレームを考察した。すなわち

- A：汚濁負荷発生源の基数を制限する。
- B：各発生源における発生負荷原単位を低減する。
- C：各発生源における排出負荷源単位を低減する。
- D：水路、河川における流達率を低減する。
- E：当該水域に入ってから<sup>1)</sup>の防止対策である。

#### (2) 汚泥の農地還元について

富栄養化対策の基本的な方向として、有機物の土壌還元が重要であることはⅡ－２章において述べたとおりである。ここではその一環として、し尿汚泥、下水汚泥の農地還元を行う際の、技術的および社会的問題点について検討を加えた。すなわち、

- i) 技術的側面として、廃棄物統計や公共下水道統計の整理や、各種汚泥類の分析からし尿処理汚泥、下水汚泥の肥料資源としての評価をし併せて重金属含量について考察する。
- ii) 社会的側面として、農業関係者へのアンケート調査を実施し、し尿処理汚泥等に対する農家の受け入れ体制を調べ、N、P有機廃棄物の農地還元を進めていく場合の問題点を整理した。

### ４・３ 研究結果および考察

#### ４・３・１ 富栄養化制御対策のフレーム

##### (1) 富栄養化対策の体系

表Ⅳ４－１は富栄養化制御のために考えうる対策を系統的に整理したものである。その詳細は巻末資料１１に掲げている。これらの中から、各水域の実情に応じ、適切な組み合わせを選択して対策を立案すればよいが、一般的には発生源での対策が優先されるべきであり、対症療法的な対策にのみ終ることのないよう注意しなければならない。

表Ⅳ4-1 富栄養化制御対策のフレーム（まとめ）

	負荷削減の段階	家庭下水	工業排水	畜産排水	農業排水	林業（山林・自然性負荷）	水産業
0	基本的対策	{わが国へのN,P入力を適正規模とする基本施策 省資源,省エネルギー,環境を大切にすること意識の向上 対策の総合的合理化					
A	発生源基数	人口抑制 人口集中抑制 立地規制	工業開発抑制 工業集中抑制 立地規制	畜産抑制 立地規制	健全農家の育成	健全林家の育成	健全漁家の育成
B	発生負荷原単位	食生活適正化 洗剤類の適正消費	製造プロセス改善 収率向上	適正給飼	適正施肥 化学肥料の有機肥料による代替	適正管理 乱伐防止 施肥林業みなおし	養殖業の適正化 ノリ施肥 ハマチの過剰給餌
C	排出負荷原単位	家庭下水（し尿・雑排水）の処理 方法の総合評価	工場排水処理の合理化 産業廃棄物、排気の適正処理・処分 中小企業対策	農業との連携 畜舎の改善	施肥方法、水管理の改善 肥料の改良		
D	流達率	{自浄作用の保全と積極的活用（浸透面のみなおし,河川改修方法の検討,河川・水路の清掃, 水路を利用した浄化装置） 河川へドロの浚渫除去					
E	海域	{底質改善,流況改善,区分利用（用途別） 自浄作用の保全と積極的活用（干潟,汀線の浄化作用,人工干潟……） N, P の資源としての利用,健全な養殖技術					

## (2) 富栄養化制御の基本的対策

富栄養化防止対策の大綱全体を通して共通する基本的な考え方を整理すれば以下の4点にまとめることができるであろう。富栄養化の問題が現代人の生き方の本質に関わるものであるという認識から、赤潮発生の防止といったような狭い枠にこだわらず、広く人間と環境の関係について考える必要がある。

- ① N、Pサイクルへの流入量の低減と土壌還元の推進
- ② 物質大量消費文明の反省と各段階で無駄をなくする努力
- ③ 対策の総合的合理化と新しい経済システムの摸索
- ④ 環境を大切にす人、社会の養成

①については、本論文のⅡ－1のほか、何度も繰り返している主張である。N、Pは、生態系サイクルとして循環させるということが大事であり、有害物質はこの循環系にできるだけ混入させないことを基本に据えなければならない。この原則からすると、たとえば、し尿の海洋投棄は有害物質の混入しない条件であれば、遠洋漁業の水揚げの見返りに、むしろ適当に奨励すべきであると考えられる。

また、食料、繊維原料、木材その他の輸入についても、産地における土壌の保全のために、有機N、P廃棄物をもどしていくことも、本来は考えてよいことである。

もちろん、食料の安定生産に化学肥料、農薬の果たした役割は非常に大きかったことを否定しうるものではないが、これらの行きすぎは是正し、もう一度リサイクルを主役に据えた新しい農業システムを構築することは、最重要な課題の一つであると考えられる。

②については石油をはじめ資源の価格高騰によって全世界的に浪費社会の見直しが進行中であり、生産、流通から廃棄に至るまでの各段階で無駄をなくし、省資源、省エネルギーをはかる努力が徐々に強化されつつある。しかし現在の経済システムと本質的に相容れないところもあって、問題はなかなか複雑で困難なものである。

工場排水の負荷削減のもっとも初歩的かつ重要な対策は製品の歩留まりを向上させることであり、これは企業活動とも矛盾するものではない。また家庭においては、規制もなく家計の合理化の必要性もさほどではないことから、一般にあまり注意が払われていないが、主婦の努力によって家庭下水を改善できる余地は相当大きいものである。

③対策は個々、近視眼的に行われるべきでなく、利便性、省資源・省エネルギー、環境保全の立場から、総合的、合理的になされなければならないということである。

たとえば、合成洗剤と粉石けんのどちらを選ぶか、し尿の海洋投入を廃止して、陸上で高度処理をするべきかなどの判断の場合に、このような総合的な評価が必要である。従来はコスト、エネルギー消費、環境汚染性などを、別々に一覧表にして、あとはそれらより



関係者の判断にゆだねられるのが一般的である。ここで総合評価の方法論として2つの新しい概念を紹介する。両者とも総合評価の今後の方向性を示唆するものである。

i) 全消費エネルギー ある製品の原料調達段階、生産、流通段階、使用段階など、全ての段階で消費されるエネルギーの総量をその製品の全消費エネルギーと定義するものであり、これは最近資源調査会によって発表されたものである。<sup>2)</sup>たとえば養殖はまちの全消費エネルギーは石油換算で3.6 l / kgと試算されている。このようなエネルギー消費の面から評価は総合評価の中で重要な部分を占める。<sup>3)</sup>田井は水処理のエネルギー消費についてこの考え方を適用している。

ii) 生態学的価格体系 環境汚染性の総合評価の方法として、外部費用の内部化の概念を徹底させたもので著者が提案するものである。すなわち、ある製品を使用する者は本来はその製品の原料調達段階、生産、流通、消費から廃棄までのすべての段階で、環境を損わないよう生産し、流通し、消費し、廃棄するとした場合の費用を負担すべきであるという考え方で、そうした場合の製品価格を生態学的価格と定義する。市場価格1枚3円の紙が生態学的価格では10円であるとすれば、本来それだけ貴重なものとして紙は大切に扱われることになるはずである。この考え方はまだ発想の域を出ない段階であり、環境を損わない程度の見きわめ、エネルギー価格の評価など非常にむづかしい問題を含んでいるが、今後の環境を守っていくためには是非とも検討すべき課題である。

④は環境を大切にする人の考え方を養成する問題である。人は目先の生活に眼をうばわれがちであり、自分達の生活の利便性を犠牲にしてまで、環境を守ろうとする考えは少数意見でしかない。生態学的な経済システムへの移行には価値観の転換が必要であり、幼年期からの教育がきわめて重要になってくる。また社会人に対しても積極的に再教育の場を与えることが必要である。

行政とくに市民と密接な自治体行政の果たすべき役割は重大で、市民を啓蒙し、制度やシステムを整備し、処理・処分施設の整備を行うことによって、人間と環境の間の健全な関係の実現に向けてけん引車の役割を果たすべきであり、これにたずさわる者の責任は非常に大きいものである。また研究者には、自然環境の現象や社会事象の解明など、社会からの期待が大きい。とくに大学の研究者は自由な立場から、市民に正確な知識を提供し、将来に向っての指針を与える責任がある。

最後に、今後の環境対策は世界的、全地球的な視野で進めていかななくてはならないということである。かつて過重労働をなくすために国際労働規約が成立していったように、環境破壊をなくすために、環境を損うことなく製品を生産し、消費し、廃棄することを国際的に常識化していくことを真剣に考えなければならない。

#### 4・3・2 汚泥の農地還元について — その技術的側面 —

##### (1) 汚泥の発生量

① し尿処理汚泥 表Ⅳ 4-2は昭和51年度におけるし尿処理汚泥の最終処分状況<sup>4)</sup>を処理方法別あるいは汚泥の形態別に推定した結果を示したものである。すべてし尿の処理量の割合として示してある。またそれぞれの処理方法別の汚泥発生量原単位を求めた結果も併せて示した。抽出した処理場数は全国1,227のうち509ヶ所である。

汚泥の発生量は脱水ケーキについてみると化学処理、好気性処理、嫌気性消化法、湿式酸化法の順にそれぞれ85, 34, 21, 9 kg/klであり、処理普及率について加重平均すると25.6 kg/klの発生量原単位を示す。昭和50年度のくみとりし尿原単位<sup>5)</sup>、1.22 l/人/日、浄化槽汚泥原単位0.75 l/人/日と組み合わせると、し尿や、浄化槽汚泥をし尿処理施設で処理したときに発生するし尿処理汚泥は、くみとり人口あたり31g脱水ケーキ/人/日、浄化槽人口あたり19g脱水ケーキ/人/日となる。

焼却灰は脱水ケーキの半分程度の発生量であり、化学処理、好気性処理、嫌気性消化法の順にそれぞれ38, 17, 11 kg/klとなっている。

し尿処理量をベースにした汚泥の最終処分の割合は結局肥料用42%, 埋立58%である。肥料用のうちでは嫌気性消化汚泥の脱水ケーキがもっとも多い。この結果は著者が実際に処理場をまわった印象よりも肥料利用が多いようであり、42%の数字の内容は必ずしも安定した需要のあることを示すものではないと考えられる。

② 下水汚泥 表Ⅳ 4-3は昭和49年度の公共下水道統計より、下水汚泥の処分状況を整理したものである。体積ベースでは水分含量の相違によって正確な比較ができないので、すべて固形分ベースで計算している。なお、焼却灰については、合計値と割合を求める際には、脱水ケーキの強熱残渣0.54で除して、焼却前のケーキの固形分量に換算した値を用いた。<sup>6)</sup>

これで見ると、下水汚泥の88%が埋立、10%が農地還元、2%が海洋投棄されていることになる。集計から大都市部を除くと、農地還元は18%となり、地方ではある程度の再資源化が行われていることがわかる。

下水汚泥の発生原単位として、合計値を昭和49年度末の処理区域人口2,178万人で除すると、処理人口1人あたり、固形分79g/人/日ということになる。

##### (2) 汚泥のN, P等肥料成分

① し尿処理汚泥 し尿処理汚泥のN, P含量の調査結果を表Ⅳ 4-4にまとめた。嫌気性消化汚泥のN含量は乾物あたり4~5%, P含量は5%程度であり、Pは消化日数が大きいほど高濃度となる傾向がある。好気性処理汚泥は嫌気性消化汚泥と比較して、

表Ⅳ4-2 し尿処理汚泥の処理処分状況  
(昭和51年度)

	処 理 普 及 率 (%)	最終処分内訳 (%)		汚泥発生量原単位	
		肥 料	埋 立	脱水ケーキ (kg/kℓ)	焼 却 灰 (kg/kℓ)
嫌気性消化法	66.7	35.7	31.0	20.8	10.6
好気性処理	23.0	4.4	18.6	33.5	16.5
湿式酸化法	6.2	1.2	5.0	8.7	-
化学処理法	4.1	0.9	3.2	85.0	38.0
合 計	100.0	42.2	57.8		
脱水ケーキ	70.3	40.0	30.3	25.6	
焼 却 灰	29.7	2.2	27.5		
合 計	100.0	42.2	57.8		

(し尿処理量ベース)

表Ⅳ4-3 下水汚泥の処分状況  
(昭和49年度公共下水道統計より作成)

	処 分 普及率%	処 分 内 訳 (%)			
		農地還元	埋 立	海洋投棄	その他
生汚泥・消化汚泥	1.9	0.1	0.1	1.2	0.5
脱水ケーキ・乾燥汚泥	60.1	6.0	53.5	0.5	0.1
焼 却 灰	38.0	3.5	34.5	0.0	0.0
合 計	100.0	9.6	88.1	1.7	0.6

表Ⅳ4-4 し尿処理汚泥の N , P 含量  
(固形分ベース)

	試料数	固形分	N 対乾物%		P 対乾物%	
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$
嫌気性消化汚泥	7	30	4.4	1.0	5.3	2.8
好気性処理汚泥	9	30	5.7	2.0	2.0	0.6
湿式酸化汚泥	3	47	1.3	0.2	10.7	2.3
化 学 処 理	1	59	1.6		1.0	
CGプロセス焼却灰	1	84	0.26		5.7	
酸化処理 〃	1		1.9		7.6	
高速酸化法し査灰	1		0.01		13.5	

表Ⅳ4-5 下水汚泥の N , P 含量

	n	固形分 %	N 対 乾 物 %	P 対 乾 物 %	
消 化 汚 泥	17	-	2.6	0.79	土木学会(1971)
消化汚泥(豊橋市)	12	43	2.3	0.73	高 橋 (1977)
生汚泥 (大竹市)	7	17	4.4	1.28	本研究

Nはやや高め、Pはやや低めである。湿式酸化汚泥や焼却灰はN含量は非常に小さく、Pは高濃度となる。肥料利用の対象となるし尿処理汚泥は固形分30%で、固形分あたりの有効成分はN4.5%、P5%、K<sub>2</sub>O 0.6%、IL70~80%程度とみてよい。

② 下水汚泥 下水汚泥の性状は、分流式か合流式、生汚泥か消化汚泥か、薬注条件の違い、汚泥消化槽へのし尿投入量の有無、消化日数などによって、かなり異なったものとなる。表Ⅳ4-5は下水汚泥の肥料成分の分析例、報告例をまとめたものである。平均的にみて、固形分は20~30%で、肥料成分の含量は一般にし尿処理汚泥よりは低めで、乾物あたり、N2~3%、P1.0%、K<sub>2</sub>O 0.2%、IL50%程度の値を示している。

(3) 汚泥のN、P発生量

人口12,000万人、下水処理人口50%、浄化槽人口20%、し尿処理人口30%とした場合、し尿処理汚泥、下水汚泥としてのN、P、発生量を(1)、(2)の情報にもとづいて推定すると表Ⅳ4-6のようになる。両者合わせてN、P発生量の合計はN71千t、P51千tとなり、N、Pの人口当量をN12g/人/日、P1.9g/人/日とすれば、脱水汚泥への回収率はN14%、P61%となる。現行の処理効率からみて、P含量の見積りがやや大きすぎた可能性があるが、ほぼ妥当な試算結果となっている。

これら汚泥の他に、農地還元対象となる有機廃棄物としては、厨芥N56千t、P5.7千t、食品工業等からの産業廃棄物のうち未利用分N68千t、P14千t(N:未回収の非可食部92千tより不可食厨芥24千tを差しひく)等がある。図Ⅱ2-3の我国農地のN、P収支図において、し尿、生ごみの農地還元量N99千t、P14千tは現状ではさらに低下しているので、その代替として上述のし尿処理汚泥や下水汚泥あるいはコンポスト、食品工業廃棄物などがどのように使用され、さらにどの程度まで化学肥料を代替していけるかが、具体的な課題であるといえる。

表Ⅳ4-6 し尿処理汚泥・下水汚泥のN、P発生量

下水処理	6,000万人×70g 固形分/人/日×	N 2.7%×365=41	千t N/年
		P 1.1%	17 千t P/年
し尿処理 浄化槽	3,600万人×19g 脱水/人/日× ケーキ	N 4.5%×365=18 P 5.0%	20
し尿処理 くみとり	2,400万人×31g 脱水/人/日× ケーキ	N 4.5%×365=12 P 5.0%	14
		計	71 51

(4) 汚泥の重金属濃度

① N、Pサイクルへの有害物質の混入 有機廃棄物をリサイクルする場合に、有害物質の混入を極力さけることが非常に重要な原則であるが、現在においては、それを守るとは非常に困難な状況となっている。

まず、し尿そのものは急性的な有害物質の混入は少なくとも考えなくてよからうが、便槽へは殺虫剤や洗剤が投入されるので注意が必要である。また大都市や工業都市では有害な産業廃棄物が浄化槽汚泥などに不法に混入されてくる危険性も大きく、たいていのし尿処理施設でこの種の事故の経験をもっている。さらに土壤汚染、水質汚染、農薬、食品添加物、医薬などによるし尿自身の慢性的な汚染も場合によっては考慮する必要がある。

一方、下水はし尿に由来するもののほか、水道水、化粧品、洗剤類等を含んだ雑排水、各種製造業の排水、あるいは建築物、自動車等々の摩耗、大気汚染を経由するデポジットなど、し尿に比べるとはるかに多様な汚染源を有している。したがって下水汚泥の資源化はし尿処理汚泥の資源化よりも一層困難性が大きい。有害物質は廃棄物として一般下水とは別系統で自治体が処理処分を行うとか、中小企業の協業化、団地化をはかって共同処理を行うなどのシステムの整備が十分なされる必要がある。

### ③ し尿の重金属濃度

昭和49年から53年にかけて、山口県内の浄化槽、し尿処理施設の機能調査を行った際に採取したし尿汚泥等の重金属濃度の分析結果を表Ⅳ4-7にまとめた。

浄化槽放流水については、 $Hg$   $0.4 \sim 15 \mu g/l$ 、 $Zn$   $0.07 \sim 4.2 mg/l$ 、 $Cu$   $1 \sim 460 \mu g/l$ 、 $Cd$   $0.7 \sim 45 \mu g/l$ と大きい幅があり、皮膚科医院や化学系教官宅で高濃度が検出されたのは注目される。TNに関する各重金属の相対濃度は中央値でみると、 $Hg/N$   $1.2 \times 10^{-5}$ 、 $Zn/N$   $1.8 \times 10^{-3}$ 、 $Cu/N$   $1.6 \times 10^{-4}$ 、 $Cd/N$   $2.5 \times 10^{-5}$ であった。

次に浄化槽汚泥については放流水と比較して1桁以上濃縮されており、やはり病院等の汚泥に高濃度のものがある。TNに対する相対濃度は中央値で $Hg/N$   $1.0 \times 10^{-5}$ 、 $Zn/N$   $5.1 \times 10^{-3}$ 、 $Cu/N$   $1.4 \times 10^{-3}$ 、 $Cd/N$   $3.1 \times 10^{-5}$ であり、放流水と比較して $Hg$ 、 $Cd$ はあまり変わらないが、 $Zn/N$ は2.8倍、 $Cu/N$ は8.8倍と汚泥の方が高くなっている。

一方、し尿処理施設への投入し尿の重金属濃度は平均値で、 $Hg$   $21 \mu g/l$ 、 $Zn$   $20 mg/l$ 、 $Cu$   $3.7 mg/l$ 、 $Cd$   $37 \mu g/l$ であり、し尿処理汚泥は乾物あたり平均値で $Hg$   $1.1$  ppm、 $Zn$   $1,200$  ppm、 $Cu$   $150$  ppm、 $Cd$   $3.4$  ppmであった。投入し尿とし尿処理汚泥のTNに対する各重金属の相対濃度を比較してみると、 $Hg/N$ 、 $Zn/N$ は6倍、 $Cu/N$ は4倍、 $Cd/N$  8.5倍といずれもし尿処理汚泥の方が高くなっている。

### ③ 下水汚泥の重金属濃度

昭和50、51年に著者が2処理場について行った調査結果を南坊らの大阪市の下水汚泥の重金属濃度報告値<sup>9)</sup>と比較して表Ⅳ4-8に示した。これらの濃度は工場排水の混入状況等よりかなりの差があるが、別の報告値も参考にして、乾物あたり $Hg$ は $0.1 \sim 10$  ppm

Znは700～5,000 ppm, Cuは100～3,000 ppm, Cdは2～70 ppm, Pbは90～2,000 ppm, Asは2～40 ppm程度の値である。

南坊らによって報告されている土壌の生育阻害濃度, Zn 150～500 ppm, Cu 80～150 ppm, Cd 25 ppm, Pb 150～500 ppm, As 50～70 ppm, Cr 200～300 ppmと比較して, 下水汚泥ではZnとCuの濃度が高いのが注目される。

#### ④ 化学肥料の重金属濃度との比較

現在流通している化学肥料中にもかなりの重金属が含まれており、とくにリン酸肥料<sup>10)</sup>についてその傾向が大きい。そこで、し尿処理汚泥、下水汚泥等と化学肥料の重金属含量を肥効成分あたりで比較してみると表Ⅳ4-9のようになり、とくに汚染を受けていないし尿処理汚泥や下水汚泥は化学肥料と比べて、Hg, Znでやや汚染度が大きい他、それほど大きい差はないように思われる。

いずれにしても、汚泥等を農地還元により資源化することを本格的に推進する際には、より徹底した有害物質混入防止対策が実施される必要があると考えられる。

表Ⅳ4-7 し尿・し尿処理汚泥の重金属濃度

	Hg(μg/l)		Zn(mg/l)		Cu(mg/l)		Cd(μg/l)		n
	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$	$\bar{x}$	$\sigma_{n-1}$	
浄化槽放流水	1.8	2.4	0.42	0.76	0.036	0.069	3.7	6.7	42
浄化槽汚泥	16	44	16	24	3.3	7.6	47	83	(33)*
投入し尿	21	24	20	10	3.7	1.7	37	29	30
し尿処理汚泥**	1.1	0.7	1,210	640	152	73	3.4	3.0	(29)* 11

\*( ) Hgの検体数, \*\* Hg→Cd:乾物あたりのppm

表Ⅳ4-8 下水汚泥の重金属濃度

	Hg	Zn	Cu	Cd	Pb	As	Cr	
	(乾物あたり ppm)							
大竹市 生汚泥ケーキ	0.83	710	150	2.2	240	15	30	本研究1975
宇部市 消化汚泥	0.13	1,220	210	2.7	90	22	53	本研究1975
(東部) 遠心ケーキ								～ 76
大阪市 最小	0.9	1,620	430	2.8	150	1.5	170	南坊ら1976
10処理場 最大	9.8	5,150	3,180	36	970	21	2,200	

表Ⅳ4-9 し尿・下水汚泥および化学肥料の肥効成分あたりの重金属含量

	Hg/N (10 <sup>-5</sup> )	Zn/N (10 <sup>-3</sup> )	Cu/N (10 <sup>-4</sup> )	Cd/N (10 <sup>-5</sup> )	Hg/P (10 <sup>-5</sup> )	Zn/P (10 <sup>-3</sup> )	Cu/P (10 <sup>-4</sup> )	Cd/P (10 <sup>-5</sup> )
くみとり し尿	1.0	2.3	0.3	0.3	7.9	18.1	2.4	2.4
浄化槽汚泥	1.0	5.1	1.4	3.1				
し尿処理汚泥	2.6	26	3.3	7.3	2.2	22	2.7	6.0
下水汚泥(大竹市)	3.8	41	5.9	8.5	5.8	5.6	11	17
第一種複合肥料 (N 12.5 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 14.2)	0.2	0.7	1.1	5.4	0.4	1.4	2.2	11
過りん酸石灰 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 17.0%)					0.6	1.7	2.4	10

#### 4・3・3 汚泥の農地還元について ― その社会的側面 ―

し尿処理汚泥や下水汚泥あるいは産業排水処理汚泥を農地還元して、有効利用をはかる方向が各地で摸索されてきてはいるが、果して農業側の受け入れ体制はどうであろうか。

実際に色々なし尿処理場をまわってみて、し尿処理汚泥の肥料としての利用は技術的には可能であっても、農家側の受け皿は用意されているのかという社会的な面を知る必要が痛感された。そこで、昭和51年1月から3月にかけて山口県内の農業関係者を中心に、汚泥の農地還元の社会的な可能性をさぐるためのアンケート調査を実施した。

##### (1) 農業関係者へのアンケート調査

山口県内の農政担当者、農業改良普及所、農協、一般農家を対象として、前3者には巻末資料12-1に示すような内容で、一般農家には資料12-2に示すような内容で、概ね郵送方式によった。なお補足的に全国の県農協連に対しても網羅的ではないがアンケートを行った。発送は宇部市周辺の一般農家へは当該地区の農協を通じて配布を依頼した他は、電話番号簿より任意に農家を選び出して郵送した。回答はすべて同封の葉書に記入して投函してもらうことにより回収した。発送および回収の状況は表Ⅳ4-10にまとめるとおりである。

##### (2) アンケート調査結果

① 現在の農業のあり方について まず、化学肥料、農薬依存型の現在の農業のあり方について見直しが必要かどうかという質問に対しては表Ⅳ4-11に結果をまとめるように、農政、農協関係で94%、農家で84%が必要であると答えている。その理由としては表Ⅳ4-12にあげるように地力の低下を挙げるものが、農政、農協関係および農家とも、

表Ⅳ4-10 農業アンケートの発送・回収の状況

対 象	対象の選択, 発送方法	発送数	有効 発送数	回答数	回収率 (%)
農 政 関 係	山口県 (3×2 通) , 県内市 (14×2) 県内町 (21×2) , 県内町村 (20×1) 郵送	96	96	47	49
農業改良普及所	県内31普及所×2通 郵送	62	62	38	61
農業協同組合	県内79農協 ×1通 郵送	79	79	35	44
	全国県農協連合会 郵送	45	45	28	62
一 般 農 家	宇部市内 宇部, 東岐波, 西岐波, 厚南地区に ついては農協を通じて配布	188	188	70	37
	その他県内農家について職業別電話番号簿 の農業欄および50音別番号簿の集団加入電 話より任意に選び郵送	420	401	103	26
総 計		890	871	321	37

57%と最も多い。第2の理由は農民自身の健康に対する不安で農政関係で21%、農家で29%の人が選択している。安全食品の供給を理由に挙げた人は農政関係で20%、農家で14%であった。農民自身の健康については専業、第1種兼業、第2種兼業の順に関心が高くなる一方、安全食品供給の使命については逆に低くなっているのは興味深い。

見直しを不必要とした理由については表Ⅳ4-13に第一と第二の理由を合わせて整理しているが、農作業の軽減を挙げた人がもっとも多く、安定生産、兼業可能がこれにつぐ。専業農家では高年令化を反映して85%が農作業の軽減を選択している。

## ② し尿処理汚泥の利用について

表Ⅳ4-14は農政関係者のし尿処理汚泥の使用を奨励するかという質問に対する回答を、表Ⅳ4-15は一般農家のし尿処理汚泥を利用するかという質問に対する回答をまとめたものである。農政関係では条件つきあるいは積極的に奨励するという意見が全体の87%程度を占めている。改良普及所、県農協連に比較的積極的な姿勢がみられるが、前者では条件付きの奨励が大部分で技術者として慎重な対応がみられる。農政では積極的奨励が28%と多い一方で、奨励しないも21%と多い。一方、一般農家の回答では、もとの結果をそのままみると利用しないが28%、条件つきで利用が53%、積極的利用が19%であったが、利用すると答えた人で利用しない理由の項にも答えている場合がかなりあり、これを補正すると、利用しないが29%、どちらかといえば利用しないが17%、条件つき利用が41%、積極的利用が13%であり、過半数が汚泥の利用に肯定的な答をしている。

し尿処理汚泥の使用を奨励しない理由あるいは利用しない理由については表Ⅳ4-16に示すように、農政関係ではし尿に対する不快感あるいは不信感を示す人が64%と多く、一般農家では他人のものまで処理の心配はしないという答えが40%、現在のままでよいという答えが20%と比較的多い。

## (3) アンケート結果の考察

① まず、し尿汚泥等の農地還元を考えていく場合に大前提となることは、農業が健全に存続するということである。現在の農業のおかれている状況は、経営難、後継者難で非常にきびしいものである。このアンケートでも多くの人が状況の厳しさを指摘し、強力な対策を期待する意見が述べられた。

多くの人が農業はわりが合わないと認識しているが、それは都市生活者との比較において考えられるのであり、根本的には都市生活者の生活を考え直さなければ農業問題の解決は不可能である。「消費者パワーに負けている」「国民はぜいたくしすぎる」という意見はある意味で本質をついたものではないかと考えられる。

② し尿汚泥等の農地還元に対する現在の受け入れ態勢はこれまでみてきたようにか



表Ⅳ 4-11 農業見直しの必要性

	農 政 普及所 農 協			農 政 関係計	専 業 第一種 第二種 農 家 兼 業 兼 業 計			
回 答 数 (人)	47	37	63	147	36	74	63	173
a 必要である (%)	96	89	90	94	86	87	81	84
b 必要でない %	4	11	10	6	6	9	19	7
無 回 答 %					8	7	0	9

表Ⅳ 4-12 農業見直しの必要な理由

	農 政 普及所 農 協			農 政 関係計	専 業 第一種 第二種 兼 業 兼 業			農 家 計
回 答 数 (人)	45	32	57	134	32	69	57	158
a 地力の低下 (%)	62	38	65	57	53	59	56	57
b 農民自身の健康 %	27	22	16	21	28	26	33	29
c 安全食品の供給 %	11	34	19	20	19	15	11	14
d そ の 他 %	0	2	0	2	0	0	0	0

表Ⅳ 4-13 農業見直しの不必要な理由

	農 政 関係	農 家
回 答 数 (人)	16	93
a 農作業の軽減 (%)	56	68
b 安定した食料生産 %	31	16
c 兼業もでき経済的に余裕をもてる	13	16

(第一、第二の理由まで)

表Ⅳ 4-14 汚泥の使用を奨励するか

	農 政 普 及 所 農 協			計
回 答 数 (人)	47	37	65	147
a 奨 励 し な い (%)	21	8	9	13
b 経済的にみえれば奨励する %	51	84	69	65
c 毒物、肥効性の保証があれば奨励する				
d 積極的に使う方向にもっていくべき	28	8	22	22

表Ⅳ 4-15 し尿処理汚泥を利用するか

	専 業 第一種 兼 業 兼 業	第二種 兼 業	計	
回 答 数 (人)	36	71	63	170
a 使 わ な い (%)	39	27	27	29
a どちらかといえば使わない %	8	25	13	17
b 経済的にみえれば使ってもよい %	36	34	51	41
c 毒物・肥効性の保証があれば使ってもよい				
d 積極的に使う方向に行くべきだ %	17	14	10	13

表Ⅳ 4-16 汚泥の使用を奨励しないあるいは汚泥を利用しない理由

	農 政 関係	農 家
回 答 数 (人)	73	108
a 他人のものまで処理の心配はしない (%)	22	40
b し尿からできたものなど使う気がしない %	37	20
c 最近のことだから何が入っているかわからない	27	14
d 現在のままでよい %	10	23
e そ の 他 %	4	3

(第一、第二の理由まで)

なり困難なものであるが、一方で、潜在的には肯定的な要素もあり、条件さえ整えば十分受け入れ態勢を育てられる可能性はある。すなわち、従来の化学肥料、農薬一辺倒の農業に対しては、地力の低下、農作物の質低下、コスト高、農薬による健康被害の認識等の反省がかなり浸透してきており、大部分の農家は安価で良質な有機質肥料の供給を希望していることがわかった。

③ 最後にし尿汚泥等の肥料として具備すべき条件として回答の中から整理してみると、i) 取り扱いやすく粒状の乾燥物であること ii) し尿に混入する殺虫剤等の抑制対策が必要であること iii) 肥料成分が保証され、できれば安定していること。iv) 安価であることなどである。

とくにiv)の点については、し尿処理のコスト、肥料・土壌改良剤として農家が受ける利益の均衡あるいは農業保護のより広い観点から慎重に検討されなければならない。省資源時代を反映して、下水汚泥の農業利用を中心とした研究が盛んになされつつあるが、農地を廃棄物処分場としてみるのではなく、安全で価値のある有機肥料を供給するという立場で考えることがまず必要であろう。

## N - 5 第Ⅳ部の総括(富栄養化の目標設定とその対策に関する研究成果のまとめ)

第Ⅳ部の研究成果を要約すると以下の通りである。

① 沿岸海域の富栄養化水質目標を設定する場合、水産業からみた最適水質と市民のレクリエーション面からみた望ましい水質との間にはかなりの差があり、これら両者間の調整あるいは両立の可能性の検討が必要であることを指摘した。

② 削減すべき負荷量を与えられた場合の、その合理的な配分方法について検討し、正味排出負荷あたりの排水処理費用という努力度指標を均等化するように配分する方法が、合理的、かつ実用的であることを明らかにした。

③ 富栄養化制御のための対策の枠組みを、発生、排出、流達のそれぞれの段階におけるN、P負荷の低減策を中心に整理した。

④ 富栄養化制御のための基本的対策として、汚泥の農地還元をとりあげ、その推進のためにはi) 技術的な側面として、重金属など有害物質の生活下水系への混入を極力防ぐことが必要条件であり、ii) 社会的側面として、その受け皿としての農業の健全な存続が重要で、そのためにはかなり抜本的な対策がなされる必要があることを指摘した。

## 第 V 部 結 論

### V - 1 本研究の主要な成果

#### 1・1 N, P 発生源に関する研究における主要な成果

##### (1) わが国における N, P 動態図の作成

Ⅱ - 2 章において、富栄養化現象が人間の食生活と密接な関係にあるとの認識から、食・飼料サイクルを基本にした、わが国の昭和 45 年度における N, P 動態図を作成した(21 頁図Ⅱ 2-1, 23 頁図Ⅱ 2-2)。

食・飼料自給率はその後もやや低下の傾向にあるが、これらの図に示された基本構造は 10 年後の現在でも通用するものであり、富栄養化制御の対策の方向づけを示した点で意義があるものと考えられる。すなわち、食・飼料サイクルをできるだけ閉じたものにするために、i) 食料自給率を高めて農地の確保をはかり、ii) 化学肥料をできるだけ減らし、有機肥料、回収肥料に代替することが、生態学的にみた富栄養化対策のあり方であり、対策の中心に据えられるべきことを指摘した。

##### (2) 各発生源における N, P 発生・排出負荷原単位の設定

Ⅱ - 3 章においては、家庭下水、工場排水、家畜汚水、農地排水(肥料流出)の各発生源について、数多くの実測調査や文献情報あるいは諸統計類の活用により、汎用性のある N, P 発生・排出負荷原単位の設定を行った。

設定の過程においては、物質収支の考え方をを用いて、どうしても避けがたい実測値の偏りを補正し、精度の向上に努めた。

排出負荷の計算方法については 81 頁および巻末資料 5 にまとめている。

i) このうちとくに家庭下水の N, P 発生負荷原単位は食品および洗剤類等の使用量からの計算と実測による検証より、ほぼ満足のいく値が設定できたものと考えられる(39 頁, 表Ⅱ 3-15)。

ii) 工場排水については多くの労力をかけて、物質収支的な見方より、主要業種の N, P 排出負荷原単位を原料 t あたり、あるいは製品 t あたりの形で設定した(巻末資料 1~3)。

何分にも、業種が多様多岐のため、十分に体系だった学問的なまとめが困難であり、また実際の計算にあたっては、基数データの制限上、中分類ごとの出荷額あたりに表現した原単位を用いざるをえないことが多い。したがって結果的には、従来あまり知られていない、工場排水の実態の紹介に終った感があるが、資料集としては貴重なものであると考えている。工場排水負荷は地域性を十分に考慮し、実測値を生かしながら慎重に計算しなければ、よい推定精度が得られない。

iii) 家畜汚水については、飼料供給量より推定されるN、P発生負荷と、糞尿の成分と排泄量より求めたN、P発生負荷がほぼ一致することより、表Ⅱ 3-43 (72頁)で示した発生負荷原単位は一般性のあるものと評価されよう。

iv) 農地排水については、先述のごとく、農学系の研究者と著者らの間に若干の評価の違いがみられる。著者が直接行った調査が十分ではないので、断定することはさしひかえるべきであるが、農業地帯の地下水水質分析データ、数河川での流達率調査の結果などから、化学肥料の排出率はさほど低いものではないこと、また田面水やため池、遊水池における内部生産により、農地がかなりのCOD負荷源になっている可能性があると考えられる。

v) 自然性負荷については、全般的に降雨時を含めた調査はあまりなされておらず、今後のデータの蓄積が必要である。

考え方としては、その河川ごとに一定のバックグラウンド濃度を自然性負荷由来のものとして、流路中の各地点における濃度測定値よりさしひくやり方が合理的であろう。

### (3) 河川の汚濁負荷流達率の測定

Ⅱ-4章においては河川のN、P、COD流達率について、その考え方を整理し、文献値の検討や、塩田川、揖保川、加古川、厚東川の長期的な実測調査を通して、その概略値を把握するとともに、とくに後3河川については、流達率を流出率と流下率に分け、流出率には、農村か市街地かなどの違いにより、0.7~1.0、流下率には、流下距離xに関する指数式( $y = 10^{-kx}$ )をあてはめることにより、ほぼ実測値に近い計算値が得られることを示した(99頁図Ⅱ 4-9 a, b, c)。

係数kの値は本来、河川や、水質項目ごとに、またその年の雨量によって変化してくるものであるが、今後これらのデータが蓄積されれば、より精度の高い流達率の設定が可能となるであろう。

このような実測調査による流達負荷と原単位計算による排出負荷、あるいは流達負荷の計算値がほぼ一致することは、先に設定した原単位、排出率等がほぼ妥当なものであることの検証にもなっている。

流量と負荷量の関係は表Ⅱ 4-19、図Ⅱ 4-13 a, b (101頁, 102頁)に示すようにほとんど直線的な関係を示す場合が多く、負荷が流量によってほぼ決定されてしまうことがわかる。すなわち流量にはかわりなく、意外に濃度レベルが安定しており、しかも、その濃度はその河川の流域の人為活動によって決ってくるということであり、一見不思議な、また興味ある現象であるといわなければならない。

### (4) 大気経由のN、P負荷

Ⅱ-5章においては、大気経由のN、P負荷について、

i) 汚染源からはなれた地域での降下負荷は、 $N\ 10\ kg / ha / 年$  ( $2.7\ mg / m^2 / 日$ ),  $P\ 0.5\ kg / ha / 年$  ( $0.14\ mg / m^2 / 日$ ) 程度であること

ii) 瀬戸内海域沿岸からの $NH_{3,4}-N$ の排気負荷は陸域からの全 $N$ 排水負荷の30%程度であり、海面への降下負荷は同じく全 $N$ 排水負荷の10%程度であること、

iii)  $P$ の大気経由の負荷は陸域からの $P$ 排出負荷の5%以下であること、

iv) 肥料工業など一部の工業では、 $N$ 、 $P$ 排気負荷が大気を経由して水域に供給される影響を軽視することができないこと、などを明らかにした(表Ⅱ5-4, 113頁)。

大気経由の負荷は排水負荷に比較して、むしろ広域汚濁への寄与が大きい場合もあると思われ、また水域の富栄養化のみならず、陸上生態系への影響も無視できないので、今後、簡易なデポジットゲージ法などにより、降下負荷のデータの蓄積がなされる必要があろう。

## 1・2 富栄養水域における $N$ 、 $P$ の挙動と水質予測に関する研究の主要な成果

### (1) 富栄養水域における底質評価方法の2, 3の提案

Ⅲ-2章においては、水・底泥間の $N$ 、 $P$ の挙動を数多くの調査や実験によって明らかにし、底質評価における種々の問題点を整理した。

水質シミュレーションの中での底質評価の方法として

i) コアサンプルの採取と室内溶出実験により $N$ 、 $P$ 溶出速度を直接測定する実用性を重視した評価方法と

ii) 沈降、分解、拡散等の物質交換機構をできるだけ忠実に組み入れた、電算機を用いた数値計算法とを提案した。

前者の方法を用いた溶出速度実測値や報告値は、表Ⅲ2-11(144頁)にまとめているが、採泥方法、溶出実験の方法等これまで数多くの環境アセスメントの場で応用されている。

富栄養水域における溶出速度は $N\ 50 \sim 100\ mg / m^2 / 日$ 、 $P\ 5 \sim 10\ mg / m^2 / 日$ 程度であり、ことに $P$ 溶出速度の季節変化は著しい。

後者の方法については、 $N$ に関してはほぼ満足のいく数値解析モデルが提案できたと考えている。 $P$ に関しては溶出機構の解明はほぼ終了しているが、その複雑さのために数値解析モデルによる水・底泥間の $P$ の挙動を安定して再現できるまでには至っていない。

### (2) $N$ 、 $P$ からの $COD$ の内部生産評価方法の2, 3の提案

非保存型の $COD$ 水質シミュレーションにおいて、底質評価とならんでもう一つの重要な要素が、植物プランクトンによる $N$ 、 $P$ からの $COD$ 内部生産の評価方法である。

Ⅲ-3章では、この点につき

i) 簡易モデルとして、水質常時監視のデータから、年間のCODの変動がプランクトンの生産に由来するものとして、 $\Delta\text{COD}$ ならびに植物プランクトンによるN、Pの $\Delta\text{COD}$ への変換率という新しい概念を導入した解析方法（ $\Delta\text{COD}$ 法）と、

ii) 水域の面積あたりのCOD内部生産速度をTN、TP濃度の関数として表わす、生産関数法の2つの方法を提案した。

$\Delta\text{COD}$ 法は、富栄養水域におけるCOD環境基準の達成のために合理的なCOD、NP削減対策をすすめる上で、もっとも簡便な目安をうることのできる方法として意義があり、また、変換率を水質の関数として表現することができれば、N、P濃度予測と、陸域からのCOD負荷に対応するCODminの予測とを別に行って、内部生産を考慮した水質予測も可能である。実際に本法も数多くの環境アセスメントの場で利用されている。

本報においてはCODmin（内部生産のない場合のCOD濃度）の設定が問題点となっており、COD測定値より、内部生産由来のCODを分離する合理的方法の検討が今後の課題である。

一方、生産関数法においては、まず明暗びん法による簡易な一次生産量（面積あたりのCOD内部生産速度）の測定方法を提案し、これによって得られるデータと、TN、TP濃度を関係づけることにより、水質シミュレーションにおける内部生産の評価を行おうとしたものである。

図Ⅲ3-13（156頁）にその測定例を示したように、この測定法は実用に耐えるものであり、富栄養水域における水質監視項目としてとりあげられるべきものである。

### (3) 底泥と内部生産を考慮した水質シミュレーションの提案

Ⅲ-4章では、徳山湾を例にとって、底泥の影響は実測した溶出速度を定数として入れ、内部生産の評価は $\Delta\text{COD}$ 法あるいは生産関数法による2つの方法で、ボックスモデル水質シミュレーションを行った。

これらのボックスモデルの特徴は、流入負荷や移流量、現状濃度分布等を既知の条件とし、定常状態を仮定して、まず $\text{Cl}^-$ の収支から拡散水量を、次いでPの収支から沈降速度を、そしてNやCODの収支より、脱窒速度係数や、COD減少速度係数を順次決定していく方法である。

徳山湾では、流入負荷の算定が確かであること、流況計算も信用度の高いものがあること、濃度分布の実測値も比較的豊富であることから、計算対象として選択したが、既知として入れた条件が確かなものであれば、これらの計算より逆に沈降速度、脱窒速度係数等、実測では測定困難な係数を知ることができるわけである。たとえば、表Ⅲ4-13（168頁）に示したような各係数の値は、それ自身参考となる情報である。

次にNに関する水質シミュレーションでは、底質予測と水質予測を連動させ、植物プランクトンによる内部生産（この場合は無機態Nの有機態Nへの変換）もミハイリス型の関数で与えたモデルにより、やはり徳山湾を対象にして、ほぼ納得のいく、N挙動の季節変化の再現を行い、本格的な水質予測に一步を踏み出すことができた。

しかし比較的、機構の単純なNでさえ、計算量はかなり膨大で、実用性の点でなお改良の余地を残している。なお、Pではさらに複雑でありまだこの段階に達していない。

また、拡散水量の設定法、 $Cl^-$ に対する移流量や拡散水量をそのままP、N、CODに適用すると実情に合わないなどの指摘は、今後さらに理論的な検討をすすめる必要があると考えられる。

### 1・3 富栄養化制御の目標設定とその対策に関する研究の主要な成果

富栄養化制御の対策に関する研究は手をつけてまだ日が浅く、また総合評価の困難性もあって、まだ体系だった研究成果をえるには至っていない。

#### (1) 富栄養化制御の目標設定について

IV-2章においては沿岸海域の富栄養化制御の目標設定に関して、重要な要素として水産業と市民リクレーションをとりあげ、統計解析やアンケート調査を行って検討した。

i) 瀬戸内海の水産統計について、たんばく資源の生産、漁業経済の両面から経年的な解析を行い、水産業からみた場合の内海の富栄養化水質目標は、高級魚の減少、赤潮の発生などの損失面を考慮しても、おそらく現状程度、場合によってはそれ以上の富栄養度が許容されることを示した。このことは漁民アンケートの結果からも裏づけることができた。

ii) 瀬戸内海の離別水産統計の比較から、海面面積あたりの流入負荷量として、 $N\ 50\ kg/km^2/日$ 、 $P\ 5\ kg/km^2/日$  程度が最大の漁業生産金額を与えること、流入負荷に対する水揚負荷による回収率は、通常Nで6~10%、Pで8~15%程度であり、したがって、海面あたりの水揚負荷上限値は $N\ 3\sim 5\ kg/km^2/日$ 、 $P\ 0.4\sim 0.6\ kg/km^2/日$ 程度であることを示した。この回収率は養殖のやり方によってはさらに高めることができ、沿岸漁業の本来の省資源性、省エネルギー性を生かしながら、食料生産の場としての内海の活用を積極的にはかっていくべきことを指摘した。

iii) 一方、市民アンケートの結果によれば、大部分の人が身近なところに海水浴場があることを望み、子供が自然と親しむ水辺が必要であると考えており、漁民より明らかに、きれいな瀬戸内海であることを望んでいる。

富栄養化の目標設定を具体的に行うにあたっては、これら両者の要求の調整あるいは両立の可能性を技術的に検討していく必要がある。

## (2) 環境改善のための努力度指標と総量規制負荷配分の合理化

Ⅳ－３章では環境基準が決まり、それを守るための環境容量が求められ、削減すべき負荷量を与えられた場合、各負荷源にどのようにその削減量を分配するかを、数工場からなる地域を例にとって計算した。その結果、正味排出負荷あたりの水処理費用を努力度指標として、環境の側からみた努力度とし、この値の小さい工場から削減負荷の一定量ずつ配分する方法を提案した。

この考え方は大気汚染その他に関しても、また各種の人為的な負荷源間の努力度を比較する場合にも基本的には通用するものであり、今後の理論的な発展が期待される。

## (3) 富栄養化制御対策のフレーム

Ⅳ－４章においては、本論文の第Ⅲ部までの記述に沿って、考えうる富栄養化制御の対策のフレームを整理し（１９５頁表Ⅳ４－１，巻末資料１１），基本的な視点として、

- i) N, Pサイクルへのインプット量の低減
- ii) 物質大量消費文明の反省
- iii) 対策の総合的合理化
- iv) 環境教育の重要性をあげ、それぞれの問題点について整理した。

## (4) N, Pを含む有機廃棄物の農地還元上の問題点について

Ⅳ－５章においては、対策の重要な柱の一つである有機廃棄物の農地還元上の問題点について、発生量、肥効成分、重金属汚染の状況を把握するとともに、社会的側面として、アンケートにより農業関係者の生の声を聞いた。これらより

i) 畜産廃棄物は現状でほぼ農業側に受け入れられるような状況にあるが、都市廃棄物や工業廃棄物由来のものについては、おそらく化学肥料使用量の低減とひきかえになされる必要があること

ii) 農業の健全な存続には大きな不安があり、全国民が真剣にこの問題を考えなければならないこと

iii) 都市廃棄物や工業廃棄物由来の有機物資源を農地還元していく場合には、有害物質を含まないこと、有効成分が安定していること、とりあつかいが容易であることなどが前提条件であるが、ことに有害物質の混入防止には最大限の注意が払われる必要があることなどを指摘した。



## V - 2 研究の今後の課題と方向性について

本研究においてなしえなかった重要な課題として主なものをあげると

- (1) N, P発生源に関する研究については
  - ① 人体における脱窒率の把握
  - ② 現代農業と有機農業の農地におけるN, P収支の比較
  - ③ 第三次産業排水の負荷の体系的な評価
  - ④ 降雨時をならした自然性負荷原単位の測定と河川による原単位のばらつき
  - ⑤ 流達率のより精度の高い体系的理論化
- (2) 富栄養水域におけるN, Pの挙動に関する研究については
  - ① 河口感潮部, 干潟部等におけるN, Pの挙動
  - ② Pの水・底泥間の季節変化シミュレーションの安定化
- (3) 富栄養化制御の対策に関する研究としては
  - ① コスト分析を軸とした総合評価方法論の検討
  - ② 種々の環境質レベルとそれに対応する費用やエネルギー所要量の関係など,  
市民が環境目標を設定する場合の参考資料の作成

などである。

今後の研究の方向性としては大別すると二つの方向がある。一つは海の方に重点をおき、ますます要請の増大する環境アセスメントをより精度の高いものにする方向、今一つは経済システムなどより根本的な方向へ溯って、富栄養化制御あるいはもっと広い意味での環境改善、人間文化向上に資するような研究を目指すかである。

前者の方向を目指すならば、P, N, CODが相互に関連する連動の水・底質予測や、さらには生態系のシミュレーションを行っていかなければならない。

著者の興味はもともと、後者の方に重点があり、Ⅲ-4章についても水質予測そのものの精度の向上に主眼をおいたものではなく、どちらかという、実際水域の場合でも、N, Pの収支をとってみたという位置づけの研究となっている。

しかし、後者の方向を目指すにしても、内容は非常に複雑で、総合的、境界領域的なものであることが予想され、多くの分野の研究者あるいは一般市民等の協力なくしては、とても達成できない課題であるが、さしづめ身近な水環境と市民の関係、様々な環境質レベルの確保に要する費用やエネルギー消費量、生態学的コストの試算などを手がけていきたいと考えている。

## V - 3 謝 辞

本論文は、昭和44年4月に著者が農芸化学から衛生工学に転向してから、昭和56年に至るまでの12年間の研究の成果をまとめたものであり、その間に、調査、分析、計算等々でお世話になった人は数えきれないほどである。

1人1人名前を記して、感謝するのが礼儀であるが、ここではとりあえず、まとめて、心から感謝申し上げる次第であります。

Ⅱ-3章については、池迫成志氏（広島県庁）、城田久岳氏（宇部短大）、中司哲朗氏（新南陽市）、Ⅱ-4章については、五藤賢二氏（新日本気象海洋）、本田良隆氏（防府市）、Ⅲ-2章については、天谷満徳氏（徳山工高）、河合泰治氏（九州理工専）、平城高志氏（防府市）、Ⅲ-3章については、宇野良治氏（東京設計）、Ⅲ-4章については平城高志氏、谷岡信昭氏（小野田市）、Ⅳ-2章については、北野正直氏（日本都市工学設計）、和田匡弘氏（日本水道コンサルタント）、Ⅳ-3章については、松本毅氏（東京設計）の修士論文あるいは卒業論文によるところが大きい。とくに記して感謝いたします。

また終始、寛大に御指導いただき、常に新しいテーマに目を向けさせていただいた、山口大学工学部教授 中西 弘先生に厚く感謝いたします。論文の作成にあたり、いろいろ迷惑をかけた当研究室の石川宗孝氏はじめ諸嬢、諸氏に深く感謝いたします。

最後に困難な状況の中、御指導を賜りました京都大学工学部教授 寺島 泰先生、京都大学工学部教授 山本剛夫先生、京都大学工学部教授 宗宮 功先生に心から感謝いたします。また当初より温い御理解と御配慮を賜りました京都大学名誉教授 岩井重久先生、京都大学工学部教授 井上頼輝先生に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

### 第 I 部

- 1) 岩崎英雄：富栄養化と赤潮発生，用水と廃水 15 (1) 47～54 (1973)
- 2) OECD水管理研究報告：湖水および流水の富栄養化，資源調査所資料第15号 (1971)
- 3) Sawyer, C.N. : ABCs of Cultural Eutrophication and Its Control, Wat. & Sew. Wrks., 118 (9) 278～281 (1971), (10) 322～327 ('71)
- 4) King, D.L. : The Role of Carbon in Eutrophication, J.W.P.C.F 42 (12) 2035～2051 (1970)
- 5) 浮田正夫，蔵重由美子，中西弘：窒素・リン分析における種々の問題点について，用水と廃水，21 (2) 18～36 (1979)
- 6) Harwood, J.E. et al : A Rapid Method for Orthophosphate Analysis, Wat. Res, 3 417～423 (1969)
- 7) Gale, M. et al : Method for the Quantitative Determination of Total Phosphorus in Water, J.A.W.W.A. 58 1363～1368 ('66)

### 第II部第1章，第2章

- 1) 浮田正夫，中西弘他：富栄養化の原因と対策，公害と対策 8 (5) 69～85 (1972)，ibid 8 (6) 69～83 (1972)
- 2) 浮田正夫，中西弘：N，P 発生源に関する考察，第2回環境問題シンポジウム講演集 (土木学会) 47～52 (1973)
- 3) 農林省統計調査部：「ポケット肥料要覧」1972版，農林統計協会 (1972)
- 4) 科学技術庁資源調査会：「日本食品標準成分表」大蔵印刷局 (1975)  
香川 綾：「食品成分表」1971，女子栄養大学出版社 (1971)
- 5) 農林省大臣官房調査課：「食料需給表」昭和45年度，農林統計協会 (1972)
- 6) 「肥料年鑑」1971年版，肥料協会新聞部
- 7) 森本 宏：「飼料学」養賢堂
- 8) 農林省流通飼料課：「飼料便覧」1972，農林統計協会
- 9) 中西，藤巻ら：「畜産物利用学」朝倉書店
- 10) 桜井芳人他：「総合食料工業」恒星社厚生閣 (1970)
- 11) 食品工業対策懇談会：「これからの食料消費」，地球出版 (1972)
- 12) 「食料年鑑」1972年版，日本食糧新聞社
- 13) 農林省肥料機械課：「ポケット肥料要覧」1973，農林統計協会
- 14) 大橋昭也：都市残飯の乾燥処理による飼料の利用，畜産の研究 32 (9) 55～58 (1978)
- 15) 浮田正夫，中西弘：土木学会第28回学術講演会講演概要集II 495 (1973)
- 16) 日本化学会：「化学便覧応用編」丸善 (1973)
- 17) 岡田 清他：「土木材料学」国民科学社
- 18) 「化学工業年鑑」昭和47年版，化学工業日報社
- 19) 「無機薬品の実績と見通し」昭和45～46年版，日本無機薬品協会
- 20) 「化学工業年鑑」昭和52年版，化学工業日報社

- 21) 化学工学協会：「化学プロセス集成」東京化学同人（1970）
- 22) 内村瞭治編：石油文明の技術と公害，技術と人間 9月臨時増刊号（1977）

## 第Ⅱ部第3章

- 1) 浮田正夫，中西弘：家庭下水における食品由来の窒素・リン汚濁負荷量，公害と対策 14（8）  
12～25（1978）
- 2) 浮田正夫，久富佐代，中西弘：家庭下水における洗剤類の汚濁負荷量，下水道協会誌 14（161）  
14～25（1977）
- 3) 農林省大臣官房調査課：「食料需給表」各年版，農林統計協会
- 4) 厚生省栄養課：「国民栄養の現状」各年版，第一出版
- 5) 「無機薬品の実績と見通し」各年度版，日本無機薬品協会
- 6) 「石けん洗剤油脂製品，原料油脂年報」各年度版，日本石けん洗剤工業会
- 7) 建設省下水道部：「家庭下水の汚濁負荷量の原単位に関する調査報告書」昭和46年7月
- 8) 石関秀穂：「糞尿浄化槽設計資料集」，相模書房刊 昭和36年
- 9) 武藤暢夫：大野茂他，「し尿処理施設の機能と管理」，産業用水調査会刊（1975）より引用
- 10) 本多淳和：「浄化槽の実際と応用」，理工社刊
- 11) 厚生省水道環境部環境整備課：「日本の廃棄物処理」（1977）
- 12) 浮田正夫，中西弘，石川宗孝：し尿・ごみ処理における窒素・リン汚濁負荷量，公害と対策 14（10）  
28～47（1978）
- 13) 浮田正夫，中西弘：下水処理における窒素・リン汚濁負荷量，公害と対策 14（11）47～64（1978）
- 14) 兼子崇，杉下進，高橋信司：家庭雑排水と糞尿の負荷および処理性に関する考察，第14回下水道研究発表会講演集119～121（1977）
- 15) 亀田泰武，明石哲也：汚泥処理リサイクル水の2次処理に与える影響に関する調査，第13回下水道研究発表会講演集619～621（1976）
- 16) 「化学工業年鑑」各年度版，化学工業日報社刊
- 17) 「ア系製品年鑑」各年度版，アノモニア系製品協会
- 18) 農林省肥料機械課「ポケット肥料要覧」各年版 農林統計協会
- 19) 日本化学会編：「化学便覧応用編」丸善刊（1973）
- 20) 化学工業協会：「化学プロセス集成」東京化学同人刊（1970）
- 21) 通産省化学工業局プロセスロケット研究会編：「製造工程図全集」化学工業社刊（1968）
- 22) 通商産業大臣官房調査統計部編：「化学工業統計年報」昭和51年版，通商産業調査会（1977）
- 23) 通商産業大臣官房調査統計部編：「石炭コークス統計年報」通商産業調査会
- 24) 環境庁大気保全局大気規制課：固定発生源に係る窒素酸化物の排出防止技術開発の現状(Ⅱ)，公害と対策 11（3）37～43（1975）
- 25) 小川秀浩ら：カールスチル式アンモニア分解設備の稼動状況について，フロマティクス 29（6）7～12（1977）
- 26) 神谷佳男：「石油石炭の化学」コロナ社（昭和45年5月）
- 27) 江崎正直：廃水中の窒素除去技術とその実例，工業用水（221）38～44（1977）
- 28) 木村元雄，伊勢一：燃料の種類と大気汚染防止対策，化学工場 19（2）25～28（1975）
- 29) 鈴木守夫：重質燃料油中の脱窒素技術，産業と環境（12）82～90（1977）

- 30) 日本石油株式会社編：「石油便覧」，石油春秋社（1977）
- 31) 環境庁：未公表資料
- 32) 環境庁：瀬戸内海水質汚濁総合調査（昭和51年度）未公表
- 33) 運輸省第三港湾建設局：「大阪湾およびその周辺海域に流入する汚濁負荷量に関する基礎調査報告書」昭和52年3月
- 34) 河野修一：排水に関する汚染負荷量原単位調査結果について，工業用水（217）33～40（1976）
- 35) 中田 均：水田からの肥料成分の流出について，関西土壤肥料協議会講演要旨№59 1～15（昭和53年6月）
- 36) 高村義親，田淵俊雄他：水田の物質収支に関する研究（第1報），日本土壤肥科学雑誌 47（9）398～405（1976）
- 37) 国松孝男：流域の肥料成分流出解析と問題点，関西土壤肥料協議会講演要旨№49 16～48，41P（昭和53年6月）
- 38) 高村義親，田淵俊雄他：水田の物質収支に関する研究（第2報），日本土壤肥科学雑誌，48（9，10）431～436（1977）
- 39) 越野正義：肥料の使用と環境汚染，化学と生物 16（7）440～446（1978）より引用
- 40) 田淵俊雄他：霞ヶ浦（西浦）へ流入する栄養塩類の負荷と濃度，農業土木学会論文集（46）10～20（1976）
- 41) 森泉昭治，吉川昭雄他：霞ヶ浦流域における農畜産業と河川汚濁の関連（第1報），（第2報），茨城大学農学部学術報告（23）89～105（1978）
- 42) 浅野次郎，谷田沢道彦：わが国農業生態系における肥料成分の循環，文部省特定研究「人間生存と自然環境」シンポジウム（1976）
- 43) 越野正義：土壤植物系における物質循環，科学 45（10）603～610（1975）
- 44) 国松孝男：流域における肥料成分の挙動，第7回畑地カンガイ研究部会（農業土木学会）テキスト№12，13～26（昭和53年9月）
- 45) 北九州市水道局工務部・研究所：水質試験年次報告第1集（昭和40年度）～第12集（昭和51年度）
- 46) 宇部市水道局浄水課水質係：水質試験年報第4集（昭和42年度）～第12集（昭和50年度）
- 47) 農林省肥料機械課：「ポケット肥料要覧」 各年版，農林統計協会
- 48) 「肥料年鑑」 各年版，肥料協会新聞部

## 第Ⅱ部第4章

- 1) 山口高志，吉川勝秀他：河川の水質・負荷量に関する水文学的研究，土木学会論文報告集（293）49～63（1980）
- 2) 和田安彦：雨天時河川堆積負荷流出に関する研究，水処理技術 22（8）10～23（1981）
- 3) 海老瀬潜一，宗宮功他，平野良雄：「タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析」 用水と廃水 21（12）46～56（1979）
- 4) 建設省編：「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」 日本下水道協会
- 5) 村上 健：河川の自浄作用および汚濁負荷の流出率について 第1報，第5回衛生工学研究討論会講演論文集1～10（1968）
- 6) 稲場紀久雄他：汚濁負荷流出率の実態調査（その1），第9回下水道研究発表会講演集221～224（1972）

- 7) 「霞ヶ浦水質現況調査報告書（縮小版）」建設省霞ヶ浦工事事務所，水資源開発公団霞ヶ浦開発建設所（昭和48年2月）
- 8) 小林節子他：生活排水による水域の汚濁（Ⅱ），公害と対策 14（2）79～91（1978）
- 9) 「神崎川負荷解析報告書」千葉県水質保全研究所（1979・1）
- 10) 国松孝男：文部省科学研究「びわ湖とその集水域の環境動態」昭和55年度報告
- 11) 浮田正夫，中西弘：小河川におけるN，P流達率に関する研究 第12回衛生工学研究討論会講演論文集 114～120（1976）
- 12) 「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書」昭和48年度 土木学会
- 13) 「地域環境特性の把握と評価方法の開発に関する研究 — 諏訪プロジェクト — 報告書」日本情報開発協会（昭和51年3月）

## 第Ⅱ部第5章

- 1) 中西弘，浮田正夫：N，Pおよび水域における有機物生産からみた負荷量等調査，「水質予測基本調査報告書」土木学会（昭和50年3月）
- 2) 浮田正夫，中西弘：大気を経由する窒素負荷について，環境技術 7（9）5～16（1978）
- 3) 小林 隆：陸水の富栄養化に関する考察Ⅰ，Ⅱ，公害と対策 12（11）1231～1238（1977），13（1）30～36（1978）
- 4) 「瀬戸内海栄養塩類収支挙動調査報告書」環境庁水質保全局（昭和52年3月）
- 5) 小林 隆：雨水の富栄養化について，水 18（8）18～24（1976）

## 第Ⅲ部第1章

- 1) 「水界の富栄養化とプランクトン群集の動態に関する談話会」日本プランクトン学会報 25（2）48～52（1978）
- 2) 吉田陽一：低次生産段階における生物生産の変化，「水圏の富栄養化と水産増養殖」92～103（1975）  
恒星社厚生閣
- 3) 岡市友市：「水産生物を指標とする瀬戸内海汚染に関する研究」文部省科学研究費総合B 730810  
研究会集資料 17頁（1972・10）
- 4) 中西弘，浮田正夫他：海域におけるCODの生産量について，用水と廃水 17（6）43～53（1975）
- 5) Sawyer, C.N., "ABC's of cultural eutrophication and its control" Wat. & Sew. Wrks. 278～281（1971）
- 6) 中田喜三郎，岸道郎ら：「沿岸海洋生態系の研究」公害資源研究所第1部第2課（昭和53年3月）
- 7) 池田三郎ら：琵琶湖の生物学的水質の数理モデルとシミュレーション 「琵琶湖の将来水質に関する調査昭和50年度報告書」土木学会（昭和51年3月）
- 8) 荒井 均ら：琵琶湖南湖の水質変化特性の研究 その5，土木学会第34回年次学術講演会講演概要集第Ⅱ部403～404（1979）
- 9) 「水質改善予測調査中間成果」運輸省第三港湾建設局瀬戸内海底質浄化委員会資料（昭和55年6月）

## 第Ⅲ部第2章

- 1) 浮田正夫，中西弘：富栄養水域における底質評価に関する研究 その1 第10回衛生工学研究討論会講

演論文集 52~57 (1974)

2) 浮田正夫, 天谷満徳, 中西弘: 富栄養水域における底質評価に関する研究 その2, 第11回衛生工学研究討論会講演論文集 63~68 (1975)

3) 浮田正夫, 天谷満徳, 中西弘: 底泥よりのN, P溶出量推定における種々の問題点について (1), (2) 用水と廃水 17 (10) 1277~1290 (1975), 17 (11) 1392~1401 (1975)

4) 河合泰治, 浮田正夫他: 底泥からの栄養塩の溶出 第15回衛生工学研究討論会講演論文集 91~98 (1979)

5) 平城高志, 浮田正夫他: 富栄養水域における底質評価に関する研究 その3, 第16回衛生工学研究討論会講演論文集 147~152 (1980)

6) Mortimer, C.H.: The Exchange of Dissolved Substances between Mud and Water in Lakes, *J. Ecol.* 29 280~329 (1941), 30 147~201 (1942)

7) 奥田泰造: 内湾底土中の可溶性栄養塩について 第3報, 東北海区水産研究所報告 第4号 215~244 (1955)

8) Jorgensen, B.B., "The Sulfur Cycle of a Coastal Marine Sediment" *Limnol. & Oceanogr.* 22 (5) 814~832 (1977)

9) Vanderborght, J.P. et al.: "Kinetic Model of Diagenesis in Disturbed Sediments, *Limnol. & Oceanogr.* 22 (5) 787~793 (1977)

10) 浮田正夫, 河合泰治, 中西弘: 富栄養水域の底質評価のためのN, P等分析指標に関する検討 用水と廃水 21 (7) 807~817 (1979)

11) 浦 勝: 底泥から静水域への物質輸送について, 九州工業大学研究報告 (工学), №33, 32~41 (1976)

12) 天谷満徳: 富栄養化現象の機構に関する研究, 山口大学工学部 修士論文 (昭和50年2月)

13) 神山孝吉, 奥田節夫, 河合章: 沿岸水域における底質と水質の相互作用 (Ⅲ), 日本陸水学会 第40回大会講演要旨集 303 (1975)

14) 「東京湾底質浄化調査報告書 要約版」 運輸省第二港湾建設局 (昭和52年3月)

15) 「大阪湾底質浄化調査報告書」 運輸省第三港湾建設局 (昭和52年3月)

### 第Ⅲ部第3章

1) 浮田正夫, 中西弘: 海域におけるN, PからCODの生産  $\Delta$ CODについて, 第3回瀬戸内海環境改善の基礎的研究 総合シンポジウム講演集 (昭和49年6月)

2) Stumm, W., Leckie, J.O.: Phosphate Exchange with Sediments, It's Role in the Productivity of Surface Waters, Proc of the 5th International Water Pollution Research Conference III-26/1~15 (1971) Pergamon Press LTD.

3) 「全国公共用水域水質年鑑」1975年版, 環境庁水質保全局監修 芙蓉情報センター刊 (昭和49年11月)

4) 「昭和47年度大阪府下河川等水質調査結果報告書」 大阪府

5) 「昭和47年度びわ湖水質調査報告書」 滋賀県

6) 「昭和47年度公共用水域水質測定結果」 茨城県

7) 「昭和47年度公共用水域水質測定結果」 長野県

8) 「全国公共用水域水質年鑑」1979年版, 環境庁水質保全局監修 芙蓉情報センター刊 (昭和53年12月)

9) 松平康雄: 日本沿岸水域基礎生産力総合研究結果, 昭和37年, 38年度文部省科学研究費 総合研究

6044, 日本プランクトン研究連絡会報 第11号 24~37 (1964)

10) 遠藤拓郎: 瀬戸内海の一次生産に関する研究, J. Fac. Fish. Anim. Husb., Hiroshima Univ. 9 177~221 (1970)

11) 「内海水域の赤潮に関する総合研究報告書」 科学技術庁 (昭和46年3月)

### 第Ⅲ部第4章

1) 中西弘, 浮田正夫: 水域の底質と環境容量との関係に関する研究, 文部省特定研究 (1) 瀬戸内海の環境容量設定に関する基礎的研究 210518 代表 津田 覚 (昭和53年3月)

2) 河合泰治, 浮田正夫, 中西弘: 底泥からの栄養塩の溶出, 第15回衛生工学研究討論会講演論文集 91~98 (1979)

3) 「徳山湾における工場廃水の漁業におよぼす影響調査報告書1, 2」 産業公害防止協会 (昭和50年3月, 昭和51年3月)

4) 村上 健: 芦田川河口堰堤湛水区間の水質予測 第13回衛生工学研究討論会講演論文集 1~6 (1977)

5) 松本 毅: 水質汚濁制御の総合解析 山口大学修士論文 (昭和55年2月)

6) 「周防灘水質汚染調査結果」 北九州市港湾局 (昭和54年12月)

7) 谷岡信昭: 水・底泥間における物質収支を考慮したボックスモデルシミュレーション 山口大学工学部卒業論文 (昭和55年3月)

### 第Ⅳ部第1章, 第2章

1) 末石富太郎, 盛岡通: 富栄養化とその制御 環境創造 9 (9) 25~35 (1978)

2) 原沢英夫, 内藤正明, 西岡秀三: 水環境システムの計画・設計に関する研究レビューと今後の方向について 水質汚濁研究 4 (4) 183~196 (1981)

3) 平野敏行, 中田英昭: 漁場環境影響評価の考え方とその方法について 浅海域海岸海底形状変化影響調査検討会資料 (昭和57年4月)

4) 麻戸敏男: し尿処理施設の維持管理費用の実態に関する研究 用水と廃水 22 (9) 61~71 (1980)

5) 田井慎吾, 辻喜曠: 水の供給と処理におけるエネルギー需要 第18回衛生工学研究討論会講演論文集 199~204 (1982)

6) 和田安彦: 利用者からみた海水浴場の評価要因とその考察 用水と廃水 21 (7) 95~104 (1979)

7) 環境庁土地利用研究会: 水辺環境の保全と土地利用 かんきょう 4 (9) 46~61 (1979)

8) 「瀬戸内海の水環境保全資料集」昭和55年他 瀬戸内海環境保全協会

9) 「瀬戸内海の水産資源統計表」各年版 中国・四国農政局

10) 「山口農林水産統計年報」各年版 中国・四国農政局山口統計情報事務所

11) 「漁業経済調査報告 - 漁家の部 - 」, 「漁業経済調査報告 - 企業体の部 - 」各年版 農林水産省統計情報部

### 第Ⅳ部第3章

1) 「昭和55年度公害の状況に関する年次報告」第94回国会提出 111頁

2) 松本 毅: 「総量規制負荷配分の合理化に関する研究」山口大学工学部卒業論文 (昭和53年3月)



- 3) 「特定事業場に対するアンケート調査」 山口県 (昭和50年)
- 4) 高木外次:「化学プロセスの最適化」 共立出版(1967.3)
- 5) 山口県公害局公害規制課:山口県における水質の総量規制について, 公害と対策 10 (4) 43~51 (1974)
- 6) 松本 毅:「水質汚濁制御の総合解析」 山口大学修士論文(昭和55年3月)

#### 第Ⅳ部第4章

- 1) 末石富太郎, 盛岡通:前出
- 2) 「衣食住のライフサイクルエネルギー」 科学技術庁資源調査会編, 大蔵省印刷局(昭和54年10月)
- 3) 田井慎吾, 辻喜礦:前出
- 4) 「昭和51年度廃棄物処理事業実態調査統計資料(一般廃棄物)」 厚生省環境整備課監修 全国都市清掃会議刊(昭和54年3月)
- 5) 廃棄物処理の状況 昭和50年度実績 厚生省環境整備課資料
- 6) 「昭和49年度版 下水道統計」 第31号 日本下水道協会
- 7) 「下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究, 昭和43年度~昭和49年度」 土木学会
- 8) 高橋和司:下水汚泥の農業への利用 産業公害 13 (8) 736~742 (1977)
- 9) 南坊憲司他:下水汚泥を含む土壌で栽培された農作物の重金属等に関する調査 下水道協会誌 13 (145) 44~56 (1976)
- 10) 「肥料年鑑」 昭和50年版 313頁 肥料協会新聞部

資料 1 各種 N 化合物製造時の N 損失率 (その1)

製 品	N含量 (%)	原 単 位 (製品 t あたり)	N 損失率 (%)	損失量 (kg・N / t)	排出 (発生) 負荷原単位 (kg・N/t)	N 排出率 (%)	備 考	出 典
アンモニアNH <sub>3</sub>	0.8225	700m <sup>2</sup> N <sub>2</sub> /t	6**		0.6~1.2	0.07~0.15	* NH <sub>3</sub> -N生産量に対して ** N <sub>2</sub> からの損失率	本研究
尿素(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	0.4665	574kg NH <sub>3</sub> /t 570	1.2 0.5	5.7 2.3				本研究 a) (1973) 80
硝酸 HNO <sub>3</sub>	0.2223	282kg NH <sub>3</sub> /t 98% HNO <sub>3</sub>	6.1	14			排気ロス率 4% → 1.9% → 0.3~0.8 (無処理) (アルカリ洗浄) (脱硝)	本研究
塩安 NH <sub>4</sub> Cl	0.2618	330kg NH <sub>3</sub> /t 323 329	3.5 1.5 3.1	9.6 4.1 8.4	2.9 2.3	1.09 0.89	A 工場 B 工場	c) 120 本研究 本研究
硫安 (合成法) (回收法)	0.212	262kg NH <sub>3</sub> /t 原料液から	1.6 1.2	3.5			カプロラクタムや MMA で計 上される。	c) 161 c) 164
化成肥料 19-42 15-15-11 一りん安	0.19 0.15 0.12	244kg NH <sub>3</sub> /t りん安 (0.19) 362kg, 硫安 420kg/t 155kg NH <sub>3</sub> /t	5.3 5.0 5.9	10.7 7.8 7.5			製品 N 含量が保証値のため、 損失が過大にでていると思われる。 通常排水負荷は大きくない。 原料を配合する工場の排水口 ス率は、0.1%以下である。	c) 182 c) 182 b) I - 226
重炭安	0.1772	230kg NH <sub>3</sub> /t	6.3	12.0				b) I - 238
青化ソーダ	0.2858	424kg NH <sub>3</sub> /t	18	63				b) I - 338
青酸 (アンドリ ューソー法)	0.5182	980~1,000kg NH <sub>3</sub> /t, Δ硫安 0.6~0.8t/t 850kg NH <sub>3</sub> /t, Δ硫安 570kg/t	18 8.6	148 60			NH <sub>3</sub> の 10~15% は分解する。	c) 614 b) I - 394
アクリル ニトリル	0.264	502kg NH <sub>3</sub> /t, Δ副生物 N 94kg/t Δ硫安 210kg/t	3.8	15.7	3.6	0.87	NH <sub>3</sub> の一部は分解する。	本研究
メタクリル酸 メチル	0	330~360kg NH <sub>3</sub> , 350~400kg HCN/t Δ硫安 2.0~2.3t/t	13	22				c) 617
メラミン	0.6662	3.1~3.3t 尿素/t, 補給用 NH <sub>3</sub> 0.3~0.5t/t Δ回收 NH <sub>3</sub> 1.2~1.3t/t 3.23t 尿素/t, 937kg NH <sub>3</sub> /t, ΔN <sub>2</sub> 41t/t	7.0 8.6	128 197				c) 798 本研究
カプロラクタム	0.1239	910kg NH <sub>3</sub> /t, Δ2.5t 硫安/t	12.1	91	(14.8) 6.1	(1.98) 0.81		本研究
スルファミン酸	0.1443	(ア法) 0.55t NH <sub>3</sub> /t, 中和用 NH <sub>3</sub> 1.88t/t Δ硫安 8.7t/t (尿素法) 0.31t 尿素/t 96% スルファ ミン酸	0.5 4.2					a) (1965) 56 a) (1956) 56

a) 化学便覧応用編 (1965, 1973)

b) 製造工程図全表 (1968)

c) 化学プロセス集成 (1970)

資料 1 各種 N 化合物製造時の N 損失率 (その2)

製 品	N含量 (%)	原 単 位 (製品 t あたり)	N 損失率(kg・N (%) /t)	損失量 (kg・N (%) /t)	排出(発生) 負荷原単位 (kg・N/t)	N 排出率 (%)	備 考	出 典
硫酸ヒドラジン	0.2153	867kg尿素/t	47	189				b) I - 398
ベンゾニトリル	0.1358	330kg NH <sub>3</sub> /t	50	136				c) 752
ニトロベンゼン	0.1138	535kg HNO <sub>3</sub> /t	4.3	5.1				b) II - 510
アニリン	0.1504	1,365kgニトロベンゼン/t	3.2	5.0				c) 739
パラニトロ アニリン	0.2028	1,175kgパラニトロクロロベンゼン/t (0.0889)	18	45				b) II - 514
パラニトロ フェノール	0.1007	175 kg NH <sub>3</sub> /t						
パラニトロ	0.1007	1,212kgパラニトロクロロベンゼン/t	6.5	7.0				b) II - 516
ジメチル アニリン	0.1156	825kgアニリン/t	6.8	8.4				b) II - 532
ヘキサミン	0.3997	500kg NH <sub>3</sub> /t	2.8	11.5				b) II - 554
塩化シアヌル	0.2279	500kg HCN/t	18	47				b) II - 588
チオ尿素	0.3680	2~2.3t 石灰窒素 (0.21) /t	18	84				c) 180
ニトロ セルロース	0.107 ~0.122	950 kg 98% HNO <sub>3</sub>	48 ~41	100 ~85				c) 1,047
セルロイド		940kg 98% HNO <sub>3</sub>	45	93				本研究
アジピン酸	0	1.46t~1.03t HNO <sub>3</sub> /t	100	325 ~229	290	100	昭和45年 U 工場	b) II - 366
A B S 樹脂		266kgアクリルニトリル			1.2	1.7	昭和46年 C 工場	c) 838
エチレン ジアミン	0.4662	890 kg NH <sub>3</sub> /t	36	266				b) II - 524
T D I M D I T D I, M D I	0.1608 0.1119	1,006kg HNO <sub>3</sub> /t 557kg HNO <sub>3</sub> /t	28 9.6 28.9	63 12			TDI: トルエンジイソシアネート MDI: ジフェニルメタタンジイソシアネート	本研究
キュブラ	0	600kg NH <sub>3</sub> /t* 1,100kg NH <sub>3</sub> /t, Δ硫酸3t/t	100 30	600 267			* 回収後の値 キュブラ: 銅アンモニア精	c) 929 a) (1965) 752
酸化チタン	0	413kg NH <sub>3</sub> /t, Δ硫酸1.28t/t 1,030kg NH <sub>3</sub> /t, Δ硫酸3.2t/t	20.1 20	68 170	91	10.7		本研究
ステンレス酸洗		4.8kg HNO <sub>3</sub> - N/t 冷延製品 1.9kg HNO <sub>3</sub> - N/t 熱延製品	100 100	4.8 1.9	3.7 1.5	77 77		本研究
硫 酸		208kg 98HNO <sub>3</sub>	100				昭和44年度 280t HNO <sub>3</sub> - N消費	ア系製品年鑑 (昭和45) 259

a) 化学便覧用編 (1965, 1973)

b) 製造工程図全表 (1968)

c) 化学プロセス集成 (1970)

資料 2 各種リン化合物の製品損失率

製 品	含 量 %	原 料 (Δ副生物)	含 量 %	原単位 kg/t	損失率 %	出 典
過リン酸石灰	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 17	リン鉱石 ケイフッ化 ソーダ	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 32	570 Δ 4	6.8	a) 88頁
熔成リン肥	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 20	リン鉱石	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 31	200	7.8	〃
リン酸液	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100	リン鉱石 石 膏	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 35 〃 0.3	2,970 Δ4,400	3.8 (1.3)	a) 90頁
リン硝安系 高度化成	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 15	リン鉱石 石 膏	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 35 〃 0.3	470 Δ 350	9.8 (0.6)	a) 91頁
一リン安	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 50	リン酸液	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100	525	4.8	a) 90頁
二リン安	〃 46	〃	〃	475	3.2	〃
一リン安	〃 52	〃	〃	540	3.7	b) 226頁
リン安	〃 42	〃	〃	430	2.3	c) 182頁
高度化成	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 15	リン安 過リン酸石灰	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 42 〃 17	362 10	} 2.4	〃
化成肥料	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 16.6 〃 11 〃 30	リン鉱石 〃 〃	BPL 85 〃 〃	430 290 770	15.4 17.1 14.9	c) 188頁 〃 〃
黄リン	P 100	リン鉱石 スラグ リン鉄	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 31 P 0.5 〃 20	1,082 Δ7,700 Δ 150	7.6 (3.6) (2.8)	d) 42頁
赤リン	P 100	黄リン	P 100	1,050	4.7	b) 406頁
リン酸 (乾式)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 85 〃 70 〃 85	黄リン 〃 〃	P 100 〃 〃	280 245 270	3.1 2.5 0.5	b) 410頁 c) 206頁 d) 46頁
リン酸2ソーダ	P 19.7	リン酸	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 75	1,100	2.0	d) 158頁
リン酸3ソーダ	〃 18.7	〃	〃	815	2.1	〃
ピロリン酸 ナトリウム	P 23.3	〃	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 75	1,030	3.7	〃
トリポリリン酸 ソーダ	P 25.26	リン酸 副産リン肥	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 〃 20 ~40	630 Δ 210	8.1	d) 159頁
(CGC法)		リン酸	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100	610	5.1	b) 426頁
リン酸 カルシウム	P 18.0	リン酸	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 75	770	1.4	b) 424頁
三塩化リン	P 22.55 〃	黄リン 〃	P 100 〃	240 230	5.6 2.0	b) 428頁 d) 156頁
五塩化リン	P 14.88 〃	三塩化リン 黄リン	P 100	700 155	5.8 4.0	b) 430頁 d) 156頁
オキシ塩化リン	P 20.2 〃	三塩化リン 黄リン	P 100	900 208	0.5 2.9	b) 432頁 d) 156頁
二五硫化リン	P 27.87	黄リン		280	0.3	b) 434頁

a) ポケット肥料要覧 (1978)    b) 製造工程図全集 I (1968)    c) 化学プロセス集成 (1970)  
d) 化学便覧 (応用編) (1973)    ( ) は副生物回収後の損失率

資料 3 N 関連工業からのN 排出負荷量と排出負荷原単位

		消費量あるいは生産量 (t/年)	N 含量	排出率	排出負荷 (t/日)		備 考
					化学工業	その他	
アンモニアの生産		2,786x10 <sup>3</sup>	0.8225	0.8 (kgN/tNH <sub>3</sub> )	6.17		
アンモニアの用途 NH <sub>3</sub> 系製品 原料用  自家用NH <sub>3</sub> ・ 液安・安水 の用途	硝酸原料用	158x10 <sup>3</sup>	〃	0.003	1.07		肥料用は別途
	亜硝酸その他 原料用	8,883	〃	0.02	0.40		
	生産原材料用	2,975	0.8225	0.05	0.34		
	化 織 用	421x10 <sup>3</sup>	〃	0.016	15.19		カプロラクタム キュブラ
	その他の 化織用	12,411	〃	0.9	25.17		
	アクリロ ニトリル用	289x10 <sup>3</sup>	〃	0.02	13.02		
	メラミン用	37,887	〃	0.025	2.13		
	発 酵 用	47,447	〃	0.2 0.4	19.26 4.27		食品工業 } 9/1 化学工業 }
	その他用	99,835	〃	0.2	55.52		肥料用は別途
	冷凍製氷用	4,868	〃	0.8		8.77	食品工業
	電 力 用	21,080	〃	0.05		2.38	電 力 業
	鉄 鋼 用	21,173	〃	0.05		2.39	鉄 鋼 業
	医 薬 用	4,406	〃	0.4	3.97		
	食 品 用	1,328	〃	0.4		1.20	食品工業
	工業薬品用 その他	71,357	〃	0.35	55.30		
	生産ロス	25	〃	0.8	0.05		
硝酸の用途 (98%換算)	火 薬 用	14,027	0.98x 0.223	0.4	3.34		硝安・硝曹・亜硝 曹用については 別途
	セルロイド ・硝化綿用	10,983	〃	0.45	2.95		
	染料中間物 ・化成品用	62,315	〃	0.15	5.58		
	顔 料 用	8,290	〃	0.2	0.99		
	T D I 用	52,386	〃	0.15	4.70		
	アジピン酸用	45,718	〃	0.7	19.10		
	化 織 用	44,654	〃	0.05	1.33		
	酸洗メッキ用	30,505	〃	0.8		14.57	鉄鋼業・金属
	試 薬 用	1,030	〃	0.8	0.49		
	その他用	29,135	〃	0.5	8.69		
工業用硝安の用途	火 薬 用	50,644	0.35	0.015	0.74		
	その他用	1,570	〃	0.5	0.75		
亜硝曹の用途	染色染料用	3,857	0.203	0.15	0.32		
	発泡剤用	3,764	〃	0.15	0.32		
	熱処理用	4,268	〃	0.6		1.43	鉄 鋼 業
	医 薬 用	870	〃	0.4	0.20		
	その他用	7,177	〃	0.15	0.60		
混酸の用途		63,116	0.98x 0.223	0.3	10.54		
硝曹の用途	火 薬 用	1,024	0.1648	0.01	0.01		
	熱処理用	3,388	〃	0.6		0.92	鉄 鋼 業
	その他用	2,902	〃	0.2	0.26		ほうろう・硝子 用除く

次の頁に続く

資料 3 N 関連工業からの N 排出負荷量と排出負荷原単位 (つづき)

		消費量あるいは生産量 (t/年)	N 含量	排出率	排出負荷 (t/日) 化学工業 その他		備 考
工業用塩安の用途	乾電池用	7,108	0.2618	0.001		0.01	電気機械
	亜鉛鉄板用	7,773	〃	1.0		5.58	鉄 鋼 業
	食 品 用	550	〃	0.4		0.16	食品工業
	その他用	26,704	〃	0.3	5.75		樹脂用除く
重炭安の用途	食 品 用	4,159	0.1772	0.002		0.01	食品工業
	医 薬 用	749	〃	0.3	0.10		
	その他用	5,654	〃	0.05	0.14		
工業用尿素の用途	メラミン用	228,145	0.4665	0.025	7.28		
	成型材料 レジン	21,394	〃	0.01	0.27		
	洗剤・助剤用	10,964	〃	0.002	0.03		
	その他用	115,684	〃	0.1	14.8		
工業用硫安の用途	培養剤用	2,418	0.212	0.4	0.06	0.5	食品工業
		381	〃	0.9	0.20		
		12,086	〃	0.6	4.21		
肥料の生産	尿 素	920x10 <sup>3</sup>	1.0 (N量として)	0.005	12.6		工業用・高度化 成・化成用原料 を含む 〃
	塩 安	188x10 <sup>3</sup>	〃	0.008	4.12		
	硝 安	52,200	〃	0.015	2.15		〃
	石灰窒素	47,800	〃	0.002	0.26		
	チタン併産 硫安	22,500	〃	0.01	0.62		
	MMA 併産 硫安	46,000	〃	0.03	3.78		副生硫安は別途
	その他併産	22,500	〃	0.02	1.24		
	化成肥料	555x10 <sup>3</sup>	〃	0.004	6.08		ラクタム 併産除く
	配合肥料	77,830	〃	0.001	0.21		
	硫酸苦土 アンモニア	7,904	0.07	0.01	0.02		
	アルデヒド 尿素	13,674	1.0	0.003	0.11		
合 計					308	57	
化学工業		308 (tN/日) / 124,952 (億円/年)	≒2.5 (kg N/日/億円/年)				
食品工業		29.9 (tN/日) / 185,917 (億円/年)	≒0.16 (kg N/日/億円/年)				
鉄 鋼 業		24.9 (tN/日) / 131,350 (億円/年)	≒0.19 (kg N/日/億円/年)				

資料 4-1 圃場あるいは水田群調査による N, P 排出量調査例 (その1)

出典	条 件	化学肥料 (有機肥料)	N,P 入力計 (kg/ha・年)	表面 流出量 (kg/ha・年)	排出率 (%)		吸収率 対入力計 (%)	差し引き 排出率 対肥料 (%)	みかけの 浄化率 (%)	備 考		
					対肥料	対入力計						
中田 (1975) 35)	滋賀県竜王町, 灰褐色土壌	N	117	154.5	25.6	33.6	29	22	63	-3.3	+10	表面流法は施肥 1日後の田面水 の1/20 が流出するとして求める。 TP 0.24mg/ℓ  入力に稲ワラ 加えす。 用水 NO 41 P 0.009 用水 NO 44 P 0.012mg/ℓ
	秋落田 (21.5ha) 1972	P	54	54.7	0.76	1.11	2.1	2.0	42	+0.7	-54	
	滋賀県彦根市 A 湛水	N	134.7	163.8	37.9	42.6	32	26	67	+10.0	-46	
	1974 (4.4ha)	P	40.0	41.1	0.64	0.88	2.2	2.1	62	-0.4	+16	
古賀ら (1978)	用排水路 B 掛流し 整備 (7.0ha)	N	133.3	175.1	53.9	60.4	45	35	69	+14.0	-44	水の行く方 (%) 地表流去 地下浸透 19 ? 26 36 6 ? 19 54 用水の N,P 濃度 (mg/ℓ) 0.52 0.25 1.68 0.11 0.67 0.21 1.87 0.13
		P	50.2	51.4	1.19	1.43	2.9	2.8	55	+0.5	-19	
	佐賀県三日月町 重粘土											
	沖積土壌 A 移植栽培	N	113	121.4	6.9	浸透水 測定せ ず	(6.1)	(5.7)			(+18)	
浅野・ 神田ら (1975)	0.5ha 1975	P	140	159.9	12.3	"	(8.8)	(7.7)			(-15)	* 施肥量 N 62 3~2 mg/ℓ P 31kg/ha とした 0.31~0.61~0.31 mg/ℓ 稲作期間
	1976	P	172	185.8	1.0	"	(0.6)	(0.5)			(+38)	
	B 乾田直播	N	140	163.1	7.7	31.7	23	19		+6.1	(+93)	
	1.2ha 1975	P	140	163.1	7.7	31.7	23	19			(+88)	
同 (1976)	愛知県東郷町 A 湛水区	N	75	84*	12	14	23*	18*			+48	* 施肥量 N 62 3~2 mg/ℓ P 31kg/ha とした 0.31~0.61~0.31 mg/ℓ 稲作期間
	20a 1973	P	62	109.7	0.079	0.083	0.27*	0.27*			+60	
	モデル木場 B 掛流し区	N	31	37.5	4.4	3.6	27*	18*			+12	
	20a	P	67	108.0	0.161	0.166	0.54*	0.53*			+50	
同 (1976)	6.6m 1974.6	N	75	84*	16	21**	19				-75	* 用水 1.67* 雨水 0.7 mg/ℓ とした。 ** <sup>15</sup> N による正味の肥料流出率
	<sup>15</sup> N 試験から140日間						(6.8)					
	22ha 1973	N	62	109.7	29.5	31.0					-26.5	
	水田群	P	31	37.5	4.4	3.6					-9.0	
建設省 農林省 工事 (1973) II 4, 7)	22ha 1974	N	67	108.0	38.6	40.0					-0.7	* 用水 1.67* 雨水 0.7 mg/ℓ とした。 ** <sup>15</sup> N による正味の肥料流出率
		P	30	37.3	8.4	8.5					+4.0	
	1972.5.1~9.14 永山	N	34	63.2	36.8	44.8	132	71			-53	
	(137日間) (18.7ha) P	4.1	5.23	0.79	1.17	29	22			-3.5		
建設省 農林省 工事 (1973) II 4, 7)	水田群	N	111.6	137.3	56.7	62.6	56	46			-140	* 用水 1.67* 雨水 0.7 mg/ℓ とした。 ** <sup>15</sup> N による正味の肥料流出率
		P	45.4	47.1	2.10	2.22	4.9	4.7			-34	
	ポンプ排水	用水 TN 3.0 ~2.2 mg/ℓ TP 0.1 ~0.2 mg/ℓ										
	35 回測定	用水 TN 3.5 ~2.5 mg/ℓ TP 0.05~0.3 mg/ℓ										

資料 4-2 圃場あるいは水田群調査による N, P 排出量調査例 (その2)

出典	条 件	化学肥料 (有機肥料)		N, P kg / ha・年	表面 流出量		排出量 計		排出率 (%)		吸収率 対入力計 (%)	差し引き 排出率 対肥料 (%)	みかけの 浄化率 (%)	備 考
		kg / ha・年	kg / ha・年		kg / ha・年	kg / ha・年	対肥料	対入力計						
高村・ 田刈ら (1975) 36)	茨城県岡見町 1974.5月中 10a 施肥区 ～1975.1月下 10a 対照	N	68.9	89.6	16.6	21.2	31(14)	24	88	2.1	-2	難透水性畑田 用水 TN=2 ppm 表面流出水の水质は田面水と雨水の 平均値を用いる。		
		P	96.0	96.2	1.87	1.92	2.0(1.8)	2.0	15	1.8	-831	水面蒸発59%, 表面流出30%, 浸透11% 新利根川左岸, 用排水整備された畑田		
高村・ 田刈ら (1977) 38)	茨城県新利根村柴崎 1975.5月 15a 施肥区 ～1976.1月 15a 対照	N	141	162.7	13.1	18.0	13(6.0)	11	69	-2.7	+17	対肥料排出率 ( ) は正味排出率 水面蒸発37%, 表面流出39%, 浸透24% 用水 TN 5～1 ppm TP 0.5～0.25 ppm		
		P	67.5	68.7	0.67	0.83	1.2(0.4)	1.2	23	-0.5	+27	排水ポンプ場からの排水等を20～25回 循環利水型 雨量 967mm, 排水量 480mm 直列田こし型用水管理 (節水型) 雨量 1093mm, 用水量 314mm, 排水量 670mm 並列標準型用水管理 (水多用型) 雨量 364mm, 用水量 2977mm, 排水量 3273mm / 期間		
古畑ら (1979)	長野県原村 10a / 6 試験 1977.5月～9月 長野県小原川上流 21.2ha 1977.5月～12月 (水量毎日, 水质5回)	N	75	118.5	6.7	44.2	59	37	80	-8.6	-2	浸透水量=かんがい水量×降水量 -蒸発散水量 この水量に浸透 水量を乗じて排出負荷とする。 (河川下流部負荷-上流部負荷)を排出 負荷とし、(調査期間の日平均値×365) を年間値とする。		
		P	93	95.0	3.4	4.8	5.2	5.1	41	3.3	-140	施肥量 ( ) は有機肥料の内数, 牛糞肥 鶏フンなどの施用量大。 71日間のうち晴天時 5 回測定。		
長崎県 (1977)	波佐見 水田群 (14.8ha) 1977.6月29日～9月7日 (71日) 愛野 畑地帯 (10.1ha) バレイシヨ, ミカン 4回測定	N	70.9 (40.0)	76.2	2.5*	(2.5)	(3.5)	(3.3)	(-3.8)	(+52)	施肥量 ( ) は有機肥料の内数, 牛糞肥 鶏フンなどの施用量大。 71日間のうち晴天時 5 回測定。			
		P	37.5 (25.9)	38.6	0.45	(0.45)	(1.2)	(1.2)	(-0.6)	(+32)	施肥量 ( ) は有機肥料の内数, 牛糞肥 鶏フンなどの施用量大。 71日間のうち晴天時 5 回測定。			
福岡 (1976)	ミカン園 1975.5月～11月	N	190	2.12	10.9	5.7	4.9	4.9	66			対肥料の排出率の項の ( ) は (多施肥区排出量-標準区排出量) ×100 (多施肥区施肥量-標準区施肥量) により求めたものである。		
		P	52.4	0.103	0.231	0.44	5.5	43						
茨城 農試 (1977)	トウモロコシ, ハクサイ 標準 1974 多施肥 グレインソルガム 標準 1975 多施肥 ニンジン, ダイコン 標準 1976 多施肥	N	350	0	17	4.9	5.5(6.4)	4.9	41			対肥料の排出率の項の ( ) は (多施肥区排出量-標準区排出量) ×100 (多施肥区施肥量-標準区施肥量) により求めたものである。		
		P	605	1	33	18	21	26						



資料 5 原単位法による排出負荷量の計算

発生源の種類	発生源基数 x		処理・処分普及率 y	発生負荷 原単位 a	排出率 b	排出負荷 原単位 a.b	排出負荷 x.y.a.b	備 考
家庭下水	し尿	各府県統計年鑑 各市町村統計書	下水処理 し尿処理 合併浄化槽 単独浄化槽 下水道投入 海洋投入	公共下水道統計 一般廃棄物処理 事業統計 (各府県, 浄化槽設置台帳 (保健所) くみとり戸数, 台帳 (市町村))	表Ⅱ 3-15 (39頁)			下水処理・し尿処理の排出率はできるだけ実測により決定する。
雑排水	〃	〃	自家処分 未処理 その他	〃	表Ⅱ 3-15 (39頁)			家庭下水に一括することもできる。
業務人口	し尿	〃 (事業所統計 の従業員数)	〃	一般廃棄物処理 事業統計				
雑排水	〃	〃	〃	〃				
浄化槽汚泥	汚泥処分量 (kg/年)	一般廃棄物処理 事業統計	〃	〃				
工業排水	中分類別 各業種	製造品出荷額等 (億円/年)	各府県統計年鑑 各市町村統計書	現状では発生・ 排出の区分は困難である。				できるだけ実測による一部の業種については物質収支法による原単位を重視する。
家畜汚水	牛・馬 豚 にわとり	飼養頭数 (頭) 〃 飼養羽数 (千羽)	各府県統計年鑑 年報 〃 〃	家畜糞尿処理施設 の利用状況 (各府県畜産課) より推定。	表Ⅱ 3-42 (72頁)	表Ⅱ 3-44 (72頁)		
農地排水	米・麦 その他	作物別作付面積 (ha)	農地還元 野 間 浄化処理 河川陸棄 その他	作物別化学肥料 所産量より (各府県農産課)	表Ⅱ 3-42 (72頁)	表Ⅱ 3-42 (71頁)	同 左	
自然性負荷	流域面積 (ha)	各府県統計年鑑 年報	〃	〃			表Ⅱ 4-13 (97頁)	バックグラウンド水質×流量で考えるべきかも知れない。

資料 6 N, P 等汚濁負荷流出率, 流速率調査報告例

調査者	調査河川	集水面積 (ha)	人口人口密度 (人/ha)	流域の特 徴	流出率 (‰)			備 考
					N	P	BOD	
稲場, 豊々ら, 第9回下水道 研究発表会講 演集221-224 (1972)	住宅市街 京 東 地 名古屋 大 阪 神 戸	73.8 111 37.0 37.4	6,518 5,220 4,856 5,527	コンクリート三面張, 管基, ポンプ排水 コンクリート三面張 菜畑水路 コンクリート三面張	52 77 33 78	56 47 25 78		晴天時6時間ごとのコンボジッ ト1日調査 雑排水N3g/人・日, P0.83g/人・日, 浄化 槽N8.65g/人・日, P1.45g/人・日の条件で 排出負荷を計算している。
村上, 第5回 衛生工学研究 討論会論文集 1~10 (1968)	江戸川支川 坂 川 荒川支川入間川 長良川支川 境 川 " 荒田川 " 伊良良川 淀川支川山科川 六角川支川富岡川	(km <sup>2</sup> ) 51.3 227.4 61.7 13.9 163.9 53.8 1.0	22.0 6.4 2.48 57.7 6.2 9.3 87.0	松戸市 岐阜市中部処理場放流 " 北部処理場が放流 武雄市			18 13 33 42 47 19 67	S41~42 BOD発生負荷原単位, 下水処理区35g/人・ 月1回のデータ 日それぞれ30g/人・日, うちし尿の負荷 の平均値, おそ 13g/人・日とし下水処理, し尿処理, し尿 浄化槽による除去を考慮して排出負荷を求め る。工場排水による負荷も計算されている。
建設省豊ヶ瀬 工事事務所 (1973) 文献 7)	西瀬 恋瀬川 山王川 園部川 西瀬 19河川 の平均	(ha) 大島(1978)より 20860 1253 7780	2.5 11.9 2.7	森泉(1978)より 耕地36% 農業地帯 " 41% " , 食品, 製米工場 " 26% " , 食品, し尿処理	88 66 86	56 77 87	BOD/COD 26.66 63.70 33.57	1時間ごとのコン ボジット毎日1 年間測定 排出負荷は若干, 筆者が計算しなおした。(本 文参照) BOD, COD流出率は原報のまゝ。 NO <sub>x</sub> -Nのみ週1回の分析値を数延している。
建設省豊瀬湖 工事事務所 (1973) 文献 12)	琵琶湖 田 川 安曇川 野洲川	(ha) 4880 7390 35500	14,424 606 78,955		89 55 29	111 77 29		48年度秋~冬 3回(5回/8h) 原報は発生負荷に対する流速率でみているの 2回( " ) で排出負荷を筆者が計算しなおした。山林負 2回(13回/24h) 荷も入っている。
日本情報開発 協会(1976) 文献 13)	諏訪湖全集水域	51,200	180,000	湖周辺3市1町, 農地を主とする 1町1村, 山林が70%程度占 める。	38 75	23 33(74)		45年度4回 * S47.8月1回** *豊田(1971) (肥料流出率100%→30%, 家畜糞尿排出率 **田中(1972) 10%→30%)山林負荷も入っている。
浮田ら(1976) 文献 11)	宇部市埴田川	508	25,447	菜畑農業用水路, 一部コンクリー ト三面張	87 (46)	78 (31)		全降雨時1~2 本文参照 時間ごと ( ) は晴天時流出率
関西産業公害 防止センター	大 津 川 泉州沿岸ブロック	(km <sup>2</sup> ) 102.3 30.7	105,920 455,670		35 27	37 67		晴天時 排出負荷概ね筆者らの方式と同じ。山林負荷 も入る。S49年末4回/日のコンボジット1回調査

資料 6 N, P 等汚濁負荷流出率, 流速率調査報告例 (つづき)

調査者	調査河川	集水面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/ha)	流域の特 徴	流速率 (%)		備 考
					N	P	
和田ら 公害と対策12 (7) 34~40 (1976)	馬川上流 有野川上流 八多川上流 長尾川上流 大沢川 淡河川 志染川上流 志染川下流	12.0 28.7 13.1 14.6 16.1 47.4 28.2 20.0	3.3 24.5 2.7 2.1 1.7 4.2 34.3 1.9	温泉街, 川へ直接流入 上流住宅団地, 河川改修すむ 一部水路整備 自然農地 " 一部圃場整備, 河川改修すむ 上流住宅団地, 河床コンクリート 自然農地, 伏流水多い	61 25 18 6.5 13 12 70 89	21 18 16 9 14 30 51 14	晴天時4回 3年分のデー タ inorg N/TN = 0.7 として補正  雑排水, し尿浄化槽などでN5.05g/人/日, P1.14g/人/日を用いる。 肥料流出は筆者が計算しなおした。家畜汚水 は発生負荷が排出負荷が確かでない。  昭和51年10~11月の値 ( ) は晴天時 雨天時5回 流速率, 雑排水N1.8g, P0.26g/人/日。 肥料流出はN12.3kg/ha/年 排出率0.25, P5.4kg/ha/年, 排出率0.02でやり直した。
長崎県 (1977)	本明川 境川 西郷川	1.4 (9.9) (11.3)	8.6 60	市街地 自然農地 "	82 35 48	70 34 36	昭和50年度 12回の測定  晴天時7回 雨天時5回 流速率, 雑排水N1.8g, P0.26g/人/日。 肥料流出はN12.3kg/ha/年 排出率0.25, P5.4kg/ha/年, 排出率0.02でやり直した。
水島ら 第14 回下水道研究 築糸会講演集 506~508 (1977)	中ノ井川	12.0	15.7 13.1	農村地帯, 新農住宅 工場排水も割に多い	46 (33)	66 (46)	昭和52年1月 ~3月 2~3回通日 昭和53年1月~ 2月1~2回通日 排出負荷の算定は筆者らの方法とはほぼ同じ である。ただし肥料流出は別途計算して追加 した。
小林, 中島ら (1978) 文献 8) 同上 (1979)	桑納川 神崎川	26.0 54.2	99.6 53.3 9.8	ベッドタウン, 農業地帯 下水処理場, し尿処理場 工場排水もあり 上流にベッドタウン 市街地, その他は農業地帯	106 9	156 (70) (20)	昭和52年8月~ 54年7月 毎日調査 排出負荷は筆者が推定
国松ら 文献 10)	琵琶湖流出水	3,120	989 3.2	滋賀県のはほとんど全域 琵琶湖面積は674km <sup>2</sup>	41	28 (44)	昭和53年8月~ 54年7月 毎日調査 排出負荷は筆者が推定
山口県 (1980)	樺野川	275	89.4 3.3	山口市の大部分	74	33 16	晴天時2回 排出負荷は筆者らの方法とあまり変らない。
浮田ら (1981)	山口湾~大海湾 全流入河川	933	207 2.2		74	90 (51)	夏, 冬1回ずつ 夏季調査時は調査日前夜に降雨あり。
原ら 第35回 下水道研究発 表会講演集 133~135 (1978)	矢作川 境川 (丸山) (作野) 阿久比川 (半田) (知多)	24.4 0.68 0.50 1.26 2.32	10.4 4.3 0.28 4.0 4.0 17	一部DIDを含む市街化区域 " 農家の点在する農村地帯 住宅地帯 住宅地域, 調整区域	44 43 20 34 12	44 43 20 34 12	洪水期 1回通日 調査

資料 7 塩田川の降雨時流出負荷 (その1)

年月日	R (mm)	流出率 O	平均濃度 (mg/l)			流出負荷 (kg)			計算 法		
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	KJN	TP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N		KJN	TP
48.10.13	17.5	0.19	1.13	0.439	266	0.471	334	139	7.62	131	C
14			1.12	0.605	219	0.317					
10.27	28	0.27	1.48	0.265	310	0.555	689	124	14.32	261	C
22			0.98	0.180	175	0.440					
10.27	14.5	0.18	1.72	0.847	309	0.586	373	200	6.19	123	C
28			1.11	0.806	120	0.314					
11.9	17.5	0.19	1.46	0.590	323	0.810	293	119	6.49	163	D <sub>q</sub>
11.18	4	0.07	1.5	0.6	30	0.8	196	56	3.97	58	D <sub>c</sub>
19											
12.3	3.5	0.07	1.5	0.6	30	0.8	180	56	3.93	58	D <sub>c</sub>
4											
12.6	4.5	0.07	1.5	0.6	30	0.8	205	64	4.46	66	D <sub>c</sub>
7											
12.18	1.5	0.41	(3.0)	0.359	604	0.733	93	12	18.7	23	C
19											
12.21	2	0.36	(3.0)	0.340	540	0.908	126	14	22.7	38	C
22											
12.23		0.85	2.55	0.700	523	1.11	135	28	22.8	62	C
24	5.0										
12.23			2.07	0.554	495	0.703	303	80	6.91	164	A
24											
12.25	3.5	0.23	2.62	0.538	400	0.997	31	63	4.7	12	A
26											
1.20	2.5	0.09	4.0	0.6	60	1.0	17	25	25	4.2	D <sub>c</sub>
1.21	24	0.35	1.97	1.11	514	0.90	81	57	304	37	A
22											
2.5	5	0.11	4.0	0.6	80	1.5	28	41	55	10.3	D <sub>c</sub>
6											
2.5	10	0.14	2.46	1.72	679	1.02	35	23	106	14	A, C
6											
2.7	5	0.11	4.0	0.5	60	1.2	26	32	38	7.6	D
2.8	4.5	0.07	4.0	0.5	60	1.0	59	72	85	16	D
9											
10											
2.15	8	0.17	3.11	0.58	853	1.75	29	55	72	21	A, C
2.19	3.5	0.10	4.62	0.80	119	1.04	18	30	45	40	D <sub>q</sub>
2.22	10	0.13	4.1	0.42	64	1.3	51	53	80	16	D
23											
2.27	3	0.11	4.6	0.8	12	1.0	19	32	48	42	D

資料 7 塩田川の降雨時流出負荷 (その2)

年月日	R (mm)	流出率 O	平均濃度 (mg/l)			流出負荷 (kg)			計算 法		
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	KJN	TP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N		KJN	TP
49.3.3	5	0.16	2.70	0.418	424	1.31	16	2.5	24	7.5	A
4											
3.5	46	0.39	2.05	1.86	5.12	1.89	179	171	456	204	A
6			2.11	2.07	3.70	1.81					
3.9	16.5	0.32	2.03	1.28	2.89	0.95	38	55	85	34	A
10											
3.25	4	0.17	1.74	0.23	5.15	1.31	20	3.8	58	15	C
26											
3.26	28	0.25	1.29	1.26	3.41	0.75	57	61	159	35	A
27											
4.7	56	0.38	3.31	0.432	8.71	2.13	289	213	933	274	A, D
8			1.5	1.2	4.5	1.2					
4.14	18	0.25	1.60	0.97	3.3	0.76	36	22	75	17	C
4.15	25	0.09	1.7	0.33	5.2	1.3	12	1.6	21	48	D
16											
4.20	44.5	0.55	1.22	2.40	30.8	0.90	183	347	666	215	A, C
21											
4.25	3	0.09	1.7	0.33	5.2	1.3	51	1.0	15	39	D <sub>c</sub>
4.28	14	0.13	1.6	0.97	3.3	0.76	24	15	49	11	D <sub>q</sub>
29											
5.8	7	0.12	3.01	0.238	4.91	1.22	13	1.7	24	63	A
9											
5.14	11	0.16	3.62	0.434	7.64	1.16	44	53	92	14	D <sub>q</sub>
15											
5.18	18.5	0.27	5.12	0.29	820	1.19	104	84	149	30	A
19											
5.20	27.5	0.35	1.93	1.20	401	1.56	80	39	190	60	A
21											
5.22	9	0.35	2.24	0.90	4.21	0.85	31	13	60	14	A
23											
5.26	1	0.63	3.51	0.45	5.40	1.04	14	20	21	5.7	A
6.3	28.5	0.23	2.27	1.02	5.22	1.65	85	38	205	69	A
4											
6.10	29	0.27	1.71	0.79	3.75	0.94	73	34	159	40	D <sub>q</sub>
11											
6.17	56	0.65	1.06	2.27	3.57	1.16	206	530	710	225	A
18			1.75	3.51	3.05	0.65					
6.21	39	0.55	0.59	1.25	1.92	0.55	78	153	196	81	A
6.27	28	0.55	0.67	0.65	1.52	0.53	53	53	114	50	A
28											
7.1	5	0.2	0.79	0.47	1.61	0.40	63	38	13	3.2	D
2											

\* 4月以降の日は測定なし

資料 7 塩田川の降雨時流出負荷 (その3)

年月日	R (mm)	流出率 C	平均濃度 (mg/l)				流出負荷 (kg)				計算 法
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> , <sub>3</sub> -N	KJN	TP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> , <sub>3</sub> -N	KJN	TP	
49. 7. 2	4.5	0.2	0.79	0.47	1.61	0.40	5.4	3.2	11	2.7	D
7. 4	5.5	0.61	1.31	0.54	2.11	0.51	2.7	1.2	4.6	1.4	A
7. 5											
7. 6	1.5	0.57	0.704	0.56	2.73	0.98	3.0	2.4	10.8	5.6	C, A
7. 10											
7. 11	6.0	0.88	0.86	0.83	2.66	0.84	2.08	3.42	7.57	1.66	C
7. 13	5.85	0.64	0.845	1.26	2.03	0.53	1.74	3.18	5.41	1.45	B
7. 15	1.7	0.63	0.612	1.83	1.69	0.344	4.0	1.19	1.10	2.2	C
7. 16											
7. 17	1.11	0.95	0.497	1.86	1.82	0.584	2.71	10.14	9.70	3.18	D <sub>0</sub>
7. 17	1.28	0.8	0.96	1.96	3.30	0.498	1.16	2.37	3.99	6.0	D <sub>0</sub>
7. 17	4.65	0.85	0.54	1.78	1.60	0.506	2.51	8.28	7.44	2.35	D <sub>0</sub>
7. 18											
7. 23	1.75	0.60	1.68	0.635	2.32	0.82	9.3	3.5	1.28	4.5	D <sub>0</sub>
7. 27	3.5	0.15	0.5	0.6	2.0	0.4	2.3	2.7	9.0	1.8	D
7. 27	1.35	0.45	0.644	0.622	2.29	0.58	2.3	2.2	8.0	2.0	D <sub>0</sub>
7. 28											
7. 29	2.9	0.15	1.14	0.45	1.67	0.331	4.2	1.7	6.2	1.2	D <sub>0</sub>
8. 24	2.75	0.68	0.84	0.53	2.30	0.77	7.2	5.3	2.02	5.8	B
8. 25											
8. 28	1.55	0.37	0.47	0.41	1.75	0.48	2.2	1.9	8.2	2.3	C
9. 1											
9. 2	5.2	0.64	0.92	0.87	1.89	0.70	1.56	1.48	3.20	1.18	D <sub>0</sub>
9. 8	1.24	0.95	0.626	1.27	1.77	0.83	3.37	1.027	1.027	3.23	B
9. 10											
9. 15	5.5	0.15	1.69	0.496	2.59	0.34	1.3	3.9	2.02	2.7	D
9. 23	1.3	0.34	0.669	0.553	2.00	0.346	2.4	2.3	8.2	1.4	B
9. 24											
9. 26	5	0.15	1.69	0.496	2.59	0.34	1.5	4.4	2.2	4.5	A, C
9. 27											
10. 1	4.6	0.59	1.24	1.12	2.74	0.575	1.37	2.01	3.32	9.1	A
10. 2	2	0.20	1.0	1.5	2.0	0.3	3.5	8.0	1.9	0.9	D <sub>0</sub>
10. 8	1.35	0.13	1.5	0.5	2.3	0.35	2.2	7.3	3.4	5.1	D <sub>0</sub>
10. 18	4.55	0.36	2.52	0.74	3.96	0.92	2.28	1.85	5.71	1.61	A
19											

資料 8 塩田川の N, P 流出負荷と流出率 (半月ごと)

年	月	降雨量 (mm)	流出負荷量				流出率	
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> , <sub>3</sub> -N	Kj-N	TP	N	P
昭和48	10	42.5	395	97	708	104	0.57	0.37
	11	17.5	255	83	532	89	0.44	0.37
	12	4.0	229	68	528	67	0.42	0.24
昭和49	1	8.0	230	69	503	74	0.41	0.26
	2	18.0	372	87	731	112	0.54	0.37
	3	0.0	375	47	570	87	0.44	0.31
	4	26.5	323	103	869	132	0.64	0.44
	5	24.5	391	68	634	117	0.51	0.44
	6	24.5	399	51	648	125	0.53	0.47
	7	17.0	506	258	970	336	0.86	1.19
	8	48.5	430	105	732	167	0.56	0.56
	9	76.5	646	271	1,493	396	1.24	1.40
	10	61.5	568	416	1,245	347	1.17	1.23
昭和50	1	18.5	433	72	682	146	0.53	0.52
	2	56.0	570	142	937	226	0.71	0.75
	3	57.5	468	179	850	226	0.72	0.80
	4	103.0	600	848	1,451	446	1.63	1.18
	5	148.5	651	784	1,657	463	1.73	1.64
昭和51	6	202.0	1,035	2,378	2,879	789	3.47	2.62
	7	0.0	285	14	480	101	0.35	0.36
	8	43.0	364	198	747	102	0.62	0.34
	9	181.5	751	1,255	1,775	520	2.13	1.84
	10	18.0	331	95	584	98	0.48	0.35
総計		1,258.5	11,068	7,953	22,989	5,422	0.89	0.79

※各月上段は上旬, 下段は下旬の集計値である。

資料 9-1 攝保川の月別平均負荷量および加重平均濃度

	Q (万m <sup>3</sup> /日)	COD sol-COD (t / 日)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2+3</sub> -N	Kj-Nsol-Kj-N (t / 日)	T-N	sol-T-N	PO <sub>4</sub> -P (t / 日)	T-P (t / 日)	sol-T-P	ssCOD	ssN (t / 日)	ssP		
1979. 9	141	7.2	4.9	1.47	0.86	2.31	1.85	3.17	2.71	0.084	0.140	0.088	2.3	0.46	0.052
10	399	20.9	11.7	1.90	2.85	5.18	3.20	8.03	6.05	0.306	0.572	0.345	9.1	1.98	0.227
11	228	10.5	7.5	2.26	1.13	3.97	3.20	5.10	4.34	0.125	0.154	0.108	3.0	0.77	0.046
12	169	8.7	6.3	2.36	1.12	4.03	3.24	5.15	4.37	0.125	0.155	0.121	2.4	0.78	0.034
1980. 1	177	10.5	7.3	1.73	1.14	3.62	2.81	4.76	3.95	0.149	0.176	0.143	3.2	0.81	0.032
2	148	13.3	9.9	2.46	0.97	5.63	4.43	6.60	5.40	0.164	0.184	0.155	3.4	1.20	0.029
3	232	12.0	9.0	2.26	1.36	4.20	3.30	5.56	4.66	0.188	0.244	0.197	3.1	0.90	0.047
4	344	13.6	10.4	0.96	1.50	1.78	1.39	3.28	2.90	0.207	0.261	0.211	3.1	0.39	0.050
5	600	29.9	17.3	2.64	3.82	6.46	4.06	10.28	7.87	0.416	0.863	0.471	12.6	2.41	0.392
6	418	16.1	11.1	2.37	2.89	3.93	2.95	6.82	5.81	0.198	0.285	0.211	5.0	1.01	0.075
7	661	23.3	15.7	1.72	4.05	3.44	2.56	7.48	6.60	0.363	0.522	0.396	7.6	0.89	0.127
8	585	16.7	11.8	1.34	3.07	2.74	1.88	5.81	4.93	0.266	0.371	0.288	4.8	0.88	0.083
年間 平均値		15.3	10.3	1.96	2.08	3.96	2.91	6.04	4.99	0.218	0.332	0.230	5.0	1.05	0.102
1979. 9	加重 平均 濃度 (mg/ℓ)	5.1	3.4	1.04	0.61	1.63	1.30	2.24	1.91	0.059	0.099	0.062	1.7	0.32	0.037
10		5.2	2.9	0.48	0.71	1.30	0.80	2.01	1.52	0.077	0.143	0.086	2.3	0.50	0.057
11		4.6	3.3	0.99	0.50	1.75	1.41	2.24	1.91	0.055	0.068	0.047	1.3	0.34	0.020
12		5.1	3.7	1.39	0.66	2.38	1.91	3.04	2.58	0.074	0.091	0.071	1.4	0.46	0.020
1980. 1		5.9	4.1	0.98	0.65	2.05	1.59	2.69	2.24	0.084	0.100	0.081	1.8	0.46	0.018
2		9.0	6.7	1.66	0.66	3.81	3.00	4.46	3.65	0.111	0.124	0.105	2.3	0.81	0.020
3		5.2	3.7	0.97	0.59	1.81	1.42	2.39	2.01	0.081	0.105	0.085	1.3	0.39	0.020
4		4.0	3.0	0.28	0.44	0.52	0.41	0.96	0.84	0.060	0.076	0.061	0.9	0.11	0.015
5		5.0	2.9	0.44	0.64	1.08	0.68	1.71	1.31	0.069	0.144	0.078	2.1	0.40	0.065
6		3.9	2.7	0.57	0.69	0.94	0.71	1.63	1.39	0.047	0.068	0.050	1.2	0.24	0.018
7		3.5	2.4	0.26	0.61	0.52	0.39	1.13	1.00	0.055	0.079	0.060	1.1	0.14	0.019
8		2.9	2.0	0.23	0.53	0.47	0.32	0.99	0.84	0.045	0.063	0.049	0.8	0.15	0.014
年間 平均値		4.9	3.4	0.77	0.61	1.52	1.16	2.13	1.77	0.068	0.097	0.070	1.5	0.36	0.027

資料 9-2 加古川の月別平均負荷量および加重平均濃度

	Q (万m <sup>3</sup> /日)	COD (t/日)	sol-COD (t/日)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2+3</sub> -N	Kj-Nsol-Kj-N (t/日)	T-N	sol-T-N	PO <sub>4</sub> -P (t/日)	T-P (t/日)	sol-T-P	ssCOD	ssN (t/日)	ssP
1979. 9	307	13.3	10.4	0.29	2.22	1.57	3.79	3.20	0.271	0.443	0.353	2.89	0.59	0.090
10	748	30.7	22.6	1.04	7.27	3.46	2.21	10.73	0.585	1.156	0.857	8.07	1.26	0.299
11	339	15.9	10.0	0.27	3.38	1.38	0.95	4.76	0.345	0.514	0.430	5.93	0.43	0.084
12	145	6.6	4.8	0.16	1.77	0.77	0.55	2.54	0.184	0.242	0.220	1.82	0.22	0.022
1980. 1	219	9.9	6.3	0.27	2.18	1.14	0.63	3.32	0.240	0.355	0.294	3.63	0.51	0.061
2	121	6.5	4.7	0.23	1.35	0.76	0.53	2.11	0.143	0.213	0.188	1.85	0.23	0.024
3	384	18.6	12.6	0.65	3.64	2.42	1.46	6.06	0.359	0.636	0.490	5.96	0.96	0.145
4	465	22.4	14.5	0.44	3.64	2.44	1.22	6.08	0.397	0.725	0.521	7.93	1.22	0.203
5	612	32.1	21.1	0.83	5.82	3.25	1.72	9.07	0.595	0.930	0.707	11.06	1.54	0.223
6	547	31.6	21.0	0.80	6.49	3.05	1.87	9.55	0.604	1.018	0.809	10.55	1.19	0.20
7	880	45.2	31.9	1.01	8.59	4.41	2.46	13.00	0.978	1.510	1.208	13.33	1.93	0.302
8	938	38.6	26.4	0.89	7.19	3.45	1.97	10.64	0.818	1.210	0.850	12.16	1.48	0.360
年間 平均値		22.2	15.2	0.55	4.40	2.29	1.34	6.69	0.450	0.733	0.567	6.96	0.95	0.166
1979. 9	加重平均濃度 (mg/ℓ)	4.3	3.4	0.09	0.72	0.51	0.32	1.23	0.088	0.144	0.115	0.94	0.19	0.029
10		4.1	3.1	0.14	0.97	0.46	0.30	1.44	0.078	0.155	0.115	1.08	0.17	0.040
11		4.7	3.0	0.08	1.00	0.41	0.28	1.40	0.102	0.152	0.127	1.75	0.13	0.025
12		4.5	3.3	0.11	1.22	0.53	0.38	1.74	0.127	0.166	0.151	1.25	0.15	0.015
1980. 1		4.5	2.9	0.12	1.00	0.52	0.29	1.52	0.110	0.162	0.134	1.66	0.23	0.028
2		5.4	3.9	0.19	1.12	0.63	0.44	1.75	0.119	0.177	0.156	1.54	0.19	0.020
3		4.8	3.3	0.17	0.95	0.63	0.38	1.58	0.093	0.166	0.128	1.55	0.25	0.038
4		4.8	3.1	0.94	0.78	0.52	0.26	1.31	0.085	0.156	0.112	1.71	0.26	0.044
5	加重平均濃度 (mg/ℓ)	5.3	3.5	0.14	0.95	0.53	0.28	1.48	0.097	0.152	0.116	1.81	0.25	0.036
6		5.8	3.8	0.15	1.19	0.56	0.34	1.75	0.110	0.186	0.148	1.93	0.22	0.038
7		5.1	3.6	0.11	0.98	0.50	0.28	1.48	0.111	0.172	0.137	1.52	0.22	0.034
8		4.1	2.8	0.10	0.77	0.37	0.21	1.14	0.087	0.129	0.091	1.30	0.16	0.038
年間 平均値		4.8	3.3	0.12	0.97	0.52	0.31	1.49	0.101	0.160	0.128	1.50	0.20	0.032

資料 9-3 厚東川の月別平均負荷量および加重平均濃度

	Q (万m <sup>3</sup> /日)	COD sol-COD (t/日)	NH <sub>4</sub> -N (t/日)	NO <sub>2</sub> -N	Kj-Nsol-Kj-N (t/日)	T-N	sol-T-N	PO <sub>4</sub> -P (t/日)	T-P (t/日)	sol-T-P	ssCOD	ssN (t/日)	ssP		
1979. 9	70	2.6	2.1	0.02	0.07	0.21	0.15	0.22	6.7x10 <sup>-3</sup>	0.018	9.2x10 <sup>-3</sup>	0.4	0.06	9.0x10 <sup>-3</sup>	
10	91	3.2	2.5	0.03	0.17	0.29	0.19	0.36	5.0x10 <sup>-3</sup>	0.024	0.011	0.7	0.10	0.014	
11	80	2.2	1.7	0.02	0.26	0.21	0.15	0.41	6.0x10 <sup>-3</sup>	0.016	6.9x10 <sup>-3</sup>	0.4	0.06	9.2x10 <sup>-3</sup>	
12	52	1.1	0.9	0.03	0.24	0.15	0.10	0.34	4.1x10 <sup>-3</sup>	0.018	5.2x10 <sup>-3</sup>	0.2	0.05	0.013	
1980. 1	63	1.2	1.0	0.02	0.34	0.12	0.09	0.44	6.3x10 <sup>-3</sup>	0.019	9.5x10 <sup>-3</sup>	0.2	0.03	9.2x10 <sup>-3</sup>	
2	38	0.6	0.5	0.01	0.17	0.06	0.05	0.22	1.9x10 <sup>-3</sup>	7.9x10 <sup>-3</sup>	4.0x10 <sup>-3</sup>	0.1	0.02	3.9x10 <sup>-3</sup>	
3	54	1.0	0.8	0.01	0.20	0.09	0.07	0.30	1.9x10 <sup>-3</sup>	0.010	5.3x10 <sup>-3</sup>	0.2	0.02	4.8x10 <sup>-3</sup>	
4	154	4.1	3.3	0.03	0.78	0.35	0.26	1.13	1.04	0.021	0.028	0.8	0.09	0.030	
5	146	4.1	3.5	0.04	0.69	0.42	0.33	1.11	1.02	0.023	0.029	0.6	0.09	0.026	
6	75	2.5	2.0	0.02	0.40	0.21	0.17	0.61	0.57	0.010	0.018	0.5	0.04	0.012	
7	516	17.4	13.5	0.13	2.82	1.89	1.10	4.70	3.91	0.157	0.234	3.9	0.79	0.225	
8	470	14.9	10.7	0.06	2.31	1.11	0.72	3.43	3.03	0.088	0.122	4.2	0.39	0.133	
年間 平均値	151	4.3	3.4	0.03	0.68	0.40	0.27	1.08	0.95	0.027	0.039	0.9	0.13	0.038	
1979. 9	加重 平均 濃度 (mg/ℓ)	3.7	3.1	0.03	0.10	0.30	0.21	0.40	9.6x10 <sup>-3</sup>	0.026	0.013	0.6	0.09	0.013	
10		3.5	2.8	0.03	0.19	0.32	0.21	0.50	5.5x10 <sup>-3</sup>	0.026	0.012	0.8	0.11	0.015	
11		3.6	2.9	0.03	0.44	0.35	0.25	0.79	0.69	0.010	0.027	0.7	0.10	0.015	
12		2.2	1.8	0.05	0.46	0.29	0.20	0.75	0.66	7.9x10 <sup>-3</sup>	0.035	0.010	0.4	0.09	0.025
1980. 1		1.9	1.5	0.03	0.55	0.18	0.14	0.74	0.70	0.010	0.015	0.3	0.04	0.015	
2		1.6	1.3	0.02	0.45	0.17	0.13	0.62	0.58	5.1x10 <sup>-3</sup>	0.021	0.011	0.4	0.04	0.010
3		1.8	1.5	0.02	0.38	0.17	0.13	0.55	0.51	3.5x10 <sup>-3</sup>	0.019	9.8x10 <sup>-3</sup>	0.3	0.04	8.9x10 <sup>-3</sup>
4		2.7	2.1	0.02	0.51	0.23	0.17	0.73	0.68	0.014	0.038	0.018	0.5	0.06	0.019
5		2.8	2.4	0.03	0.47	0.29	0.23	0.76	0.70	0.016	0.020	0.4	0.06	0.018	
6		3.4	2.7	0.02	0.54	0.28	0.23	0.81	0.77	0.013	0.024	0.7	0.05	0.016	
7		3.4	2.6	0.03	0.55	0.37	0.21	0.91	0.76	0.030	0.045	0.8	0.15	0.044	
8		3.2	2.3	0.01	0.49	0.24	0.15	0.73	0.65	0.019	0.026	0.9	0.08	0.028	
年間 平均値		2.8	2.2	0.03	0.43	0.26	0.19	0.69	0.62	0.012	0.018	0.6	0.08	0.019	

sol; 溶解性 (CFC 透過後) を表わす。 ss: 不溶解性を表わす。 未ろ過試料とろ過試料の差で表わす。



資料 10

N, P の降水による供給負荷報告例

kg/ha/調査期間

調査地点		調査期間等	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	T P	出典
宇都市	7地点	S49.4~S50.3 通年 デポジットゲージ 1ヶ月ごとに収集 (酸性にして濃抑制)	24.6	3.33	2.32	6.26	文献 1) 著者ら
徳山市	4地点		11.2	3.94	0.18	0.61	
神奈川県	平塚農試	S41.1~S41.12 通年 デポジットゲージ 1雨ごとに収集	23.8	3.67			神奈川農試; 神奈川県大気汚染調査研究報告 (第10報) 91~(S42.12)
兵庫県	播磨灘沿岸 16地点	S49.7, 8月の2ヶ月 デポジットゲージ 1ヶ月ごとに収集	0.68~ 5.20 (1.54)	1.52~ 4.10 (2.80)			兵庫県公害研究所調査
愛知県	東海市 知多市 長久手町 岡崎市 南知多町	S50.6~9月 4ヶ月 デポジットゲージ 1週間ごとあるいは随時収集	2.96 2.45 2.11 0.70 1.45	1.01 0.90 1.09 0.21 0.56		0.27 0.43 0.37 0.22 0.48	雨水の実態調査成績書 (S51.4) 愛知県農業総合試験場
茨城県	阿見町	S49.5~S50.1 8 $\frac{2}{3}$ ヶ月	12.78			0.09	高村, 田原ら, 日本土壤肥料学雑誌 47(9)398 (1976)
茨城県	水戸市 農試	S49.5.8~ S49.11.18 6 $\frac{1}{3}$ ヶ月	7.34				石川昌男ら, 日本土壤肥料学会講演要旨集 22183 (1976)
滋賀県	竜王町	S47 通年	14.6			0.21	中田均, 同上 181p (1976.3)
滋賀県	大津市 3地点	S49.7~ S50.3 9ヶ月	3.84 org-N 3.43	3.07	0.11	0.37	昭和49年度 びわ湖水质調査報告書 (1975) 滋賀県
滋賀県	竹生島 彦根市 (水試)	S48.8~S49.4 230日 デポジットゲージ 2~3週間ごとに収集 org Nは外数 168日	0.62 org-N 1.02 0.24 org-N 0.78	0.48  0.20		0.097  0.073	昭和48年度 びわ湖の将来水質に関する調査報告書 (S49) 土木学会
愛知県	東郷町	S49.6.5~10.8 126日 デポジットゲージ 1雨ごとに収集	3.60 org-N 3.81	0.85	0.31	0.47	昭和49年度 土壤汚染機構解析調査成績書 (S50.5) 愛知県農業総合試験場
東京	杉並区 (高円寺)	S11 通年?	8.43	0.02*			小林 文献3) より引用 *NO <sub>3</sub> -Nのみ
	"	S25 通年?	7.30	0.17*			
	北区 (西ヶ原)	S49.5~ S49.12 8ヶ月弱?	10.14	5.60*			越野ら農技研肥料化学科資料 182号 30~35 (1975) *NO <sub>3</sub> -Nのみ
神戸	神戸 海洋気象台	S11 通年? S15 S25 S30 S35	2.39 3.70 4.64 4.92 4.75	0.01 *0.042 0.02 0.04 0.10			気象要覧 *のみNO <sub>3</sub> -Nも測定, 他はNO <sub>2</sub> -Nのみ 小林 文献5) より引用
	西播地域	S50	4.8	12.0			兵庫県公害研究所調査
静岡	磐田	S39 通年	6.0			0.04	只木良也ら「森-そのしくみとはたらき」 共立出版 (1974)
京都	上賀茂	S40~ S42 "	3.5~6.7			0.24~0.73	
滋賀	桐生	S48 "	5.4			0.63	

資料 11 富栄養化制御対策のフレーム

対象	対 策	具 体 策	備 考
I 家庭	A1 人口抑制		好ましくないが効果はある。
	A2 集中抑制	大都市圏の過密の緩和 I) 分散的政策インセンティブ II) 過密コストの負担 III) 都市計画によるスプロール化の防止 IV) 地方都市整備 V) 一次産業育成	都市は自前の環境目標をかわけ、過密コストを負担して地方分散のインセンティブとする。
	A3 立地規制	産業立地の適正化 I) 行政指導 II) 環境コストの負担 III) 水源地や観光地の保護	富栄養化型産業の内海や湖沼への立地を抑制する。
	B1 食生活の適正化	過食防止 I) つくすりすぎない。 II) 食べ過ぎない。 III) よくかんで、消化効率を高める。	主婦の意識向上が是非とも必要である。食生活の適正化は人間の健康や遠慮心育成の基盤である。
II 施設等	汚利排水等の適正管理	調理損失の低減 I) つくすりすぎない。 II) 損失の少ない料理 III) 損失や排水を考慮に入れた料理	非は本、器にわりなりなど多量に使用されている土壌助金もあつた。現在はあまり大きくない期間での流通システムの整備が必要である。
		残飯等の適正処分 I) 家畜の飼料とする。 II) 肥料利用 III) コンポストの奨励 IV) 天ぷら油の回収・資源化	
	浄化槽等の適正管理	商品の正しい選択 I) 正しい知識の啓蒙 II) 無リリ洗剤・粉石けんの評価 III) 粉洗剤、排水管洗剤等の是非	消費者は広告にまどわされずに、正しい選択をすることにより、環境を自ら商品を選択することができる。
		消費量の抑制 I) 適正量の使用 II) 処理費を含んだ価格 III) 広告のあり方	
III 浄化槽の適正管理	浄化槽の適正管理	し尿単独浄化槽の適正管理 I) し尿浄化槽の是非 II) 基準値の強化 III) 維持管理の徹底(制度のみならず)	現状の浄化槽なら認めない方が望ましい。 現基には維持管理わるいのが普通である。
		土壌処理等新方式の検討	

資料 11 (つづき)

対象	対 策	具 体 策	備 考
(下水道)	C2 下水道の合理化	合併浄化槽の適正管理 I) 基準値のみなおし II) 維持管理の徹底(管理技術者、意識の向上) III) 三次処理の検討(是非、技術、費用)	浄化槽は身近な水環境を悪化させるので、其例はもつと強化する必要がある。
		雑排水・排水の設置 I) 処理の是非 II) 技術開発 III) 施設の構造改善、沈殿マスの効果、生物処理等	
	工場排水との共同処理の見直し	I) 共同処理の是非 II) 除害基準の強化 III) 監視・指導の強化 IV) 産業廃棄物処理システムの整備	雑排水の質によって是非が決まってくる。雑排水を発生段階で抑えれば処理コストは少なくて済む。
		工場排水との共同処理の見直し	
大都市圏で各都市の規模が小さいとき、河川水質を重視するとき	流域下水道の評価	I) 是非の検討 II) 自浄作用の評価と活用 III) 河川維持水量、管質面からの検討 IV) 汚濁物集中のデメリット補償	大都市圏で各都市の規模が小さいとき、河川水質を重視するとき
		農村下水道のあり方	
		I) 自然の活用(広さ、農地、ため池等) II) 汚泥や処理水の有効利用	
		I) 都心部での分流通式検討 II) 管内貯留システムの再検討 III) 雨水吐、ポンプ場の構造改善 IV) 流出ピークの緩和(浸透域の保全、雨水池) V) 路面、管内等の清掃	
合流式下水道の雨天時流出対策	合流式下水道の雨天時流出対策	I) 都心部での分流通式検討 II) 管内貯留システムの再検討 III) 雨水吐、ポンプ場の構造改善 IV) 流出ピークの緩和(浸透域の保全、雨水池) V) 路面、管内等の清掃	雨天の有効利用も含めて考慮の余地がある。 かなり構造のわるい施設も稼働している。 用地難
		料金制度の検討	
料金制度の検討	料金制度の検討	I) 従量制の採用 II) 汚濁物質の考慮 III) 一般家庭にもできれば適用する。	方法がむづかしい。 汚濁物質に対するきめこまかな対策をすすめる。

資料 11 富栄養化制御対策のフレーム ( つづき )

対象	対策	具体策	備考
C2 下水道の 処理化 ( つづき )	二次処理の効 率化	I) 維持管理の徹底 (技術者の 養成、管理者の資質) II) 適正負荷による運転 III) 有害物質の排除 IV) 汚泥処理方式のみならず、 N、P除去を考慮した処理処 理法に対応した処理)	現在でもまだ十分とはいえない。 硝化活性汚泥法の評価、 生物固着法の評価等 消化汚泥を焼却するのは不合 理である。
	汚泥処分の方 法	I) 省資源、省エネルギーを考 えた処分 II) 農地還元への推進 III) 有害物質の排除	コンポスト技術など がある。
(し尿処 理)	下水三次処理 の検討	I) 二次処理技術の改良 II) 三次処理の是非 (省資源面からの検討) III) 目的に応じた技術	微量揮発、固定床の併用凝集 剤注入、浮上分離など 環境目標の明確化がその判断 に必要である。 COD、BOD、SS除去 P除去、N除去 塩素除去と水の再生等
	C3 し尿処理 の合理化 ( つづき )	I) くみどり使用の評価 II) 省資源便所の技術 III) 海洋投入処分の是非	改良技術、新技術の研究開発、 懸念等。 コスト評価、エネルギー消費 水準評価に対する効果の把握
し尿の二次処 理の効率化	I) 維持管理の徹底 (技術者の養成、管理者の資 質と待遇改善) II) 適正負荷による運転 III) 有害物質の排除 IV) し尿処理等の規制 V) 汚泥処理施設への監視 VI) 汚泥処理の受け皿づくり VII) 放流水処分 (農地かんが いその他の有効利用)	I) 維持管理の徹底 (技術者の養成、管理者の資 質と待遇改善) II) 適正負荷による運転 III) 有害物質の排除 IV) し尿処理等の規制 V) 汚泥処理施設への監視 VI) 汚泥処理の受け皿づくり VII) 放流水処分 (農地かんが いその他の有効利用)	現状ではなお十分とはいえない。 リサイクル前提の規制、公衆 道徳の高揚など行政の責任大 実証的研究必要 焼却するのにはわざわざ消化す ることは不合理である。
	し尿処理汚泥 の処分方法	I) 農地還元への推進 (流通システムの確立) II) 有害物質の排除	農業の保護 腐敗、行政の指導 残留農薬の検査も含む

資料 11 ( つづき )

対象	対策	具体策	備考
C3 し尿処理 の合理化 ( つづき )	し尿の高度処 理	I) 二次処理技術の改良 II) 高度処理の是非 III) 地域の目標に応じた技術	好氧性脱窒、加圧浮上法など 省資源、省エネルギーからの 検討 P除去、N除去、脱色など
	C4 N、P有機 汚泥の系外 搬出	I) 湖岸集運式下水 道の再評価 II) 処理水、生下水の海中放 流の再評価	外洋の沿岸都市で有害物質の 混入しないことが条件
D1 流通率 低下	し尿、汚泥等 の系外搬出	I) 海洋投入の再評価 II) 汚泥肥料等の農作物産地、 森林等への輸出 III) 砂浜、荒廃地の緑化	いずれも有害物質のいないこと 、肥料として価値のあること が条件であるが輸送コストが 問題
	水路河川の清 掃	I) 溝・池 II) 河川清掃 (ごみ拾い、草刈 り、泥さらい) III) 河川底泥の浚渫 IV) 河口感潮部の浚渫	住民の意識向上にも役立つ。 除去物の適切な処分先が必要 である。
水路河川の浄 化力保全	I) 水質保全 II) 施設確保 III) 農業保全	I) 水質保全 II) 施設確保 III) 農業保全	水質と河川の自浄力の不連続 性の把握 これらの自浄作用への影響の 把握が必要である。役立つ 河川の実観向上にも役立つ
自然浄化力の 積極的利用	I) 土壌処理 II) 二次処理水のかんが い処理 (森林・原野・草地 農地)	I) 土壌処理 II) 二次処理水のかんが い処理 (森林・原野・草地 農地)	バイオマスエネルギーの利用 技術の開発
D2 都市の面 積的負荷 対策	雨の浄化	I) 大気汚染防止 II) ごみの適正処分 III) 路面清掃	水質源としての雨の利用
	雨水流出の緩 和	I) 浸透域の保全 II) 都市緑地の保存	都市計画における配慮
水路・河川の 清掃	I) 河川清掃 II) 底土浚渫	I) 河川清掃 II) 底土浚渫	

資料 11 富栄養化制御対策のフレーム ( つづき )

対象	対策	具体策	備考
2 工場	A 工業廃物の抑制	I) 大量生産, 大量消費社会のみならず II) 修理再生業の整備	現在の経済システムの中では本質的に困難である。
		I) 環境容量の設定 II) 汚濁型工業の立地規制	
	B 発生源荷原単位の低減策	I) 自他工場への移転 II) 工場の移転, 閉止	汚濁型産業の移転や閉止の実例は実際にかなり行われている。
		I) 原材料の使用転換 (中和剤, 防錆剤, 洗淨剤, 媒染剤など) II) 同上, 使用量の低減 III) 製品収率の向上 IV) 廃液, 廃棄物の副製品化	
	C 排出負荷原単位の低減策	I) 装置の管理, 補修 II) 漏れの防止	荷役に伴なう損失の低減
		I) トラック, タンクローリー, ケミカルタンカーの洗淨排水の処理 II) 荷役時あるいは原料置場からの発じん防止	
	D 放流方法の工夫	I) 側凹処理による有機物の回収 II) 総合処理 III) 中小企業共同処理 IV) 都市下水との共同処理	アンモニア水素気蒸留など消費者による処理コストの応分負担 有機物質の投入しないこと
		I) 有機物の回収 II) 高濃度廃液の別途処理, 処分 III) 有害物質の別途処理処分 IV) 共同処理, 処分施設の確保	

資料 11 ( つづき )

対象	対策	具体策	備考
3 農業	A 農地確保	I) 食料自給率の向上 II) 農地の保護, 育成	農地が本来の再資源化処理の機能を發揮することが前提条件である。 消費者は食費が増加しても、より安全で質のよい食品を求めるべきである。 身土不二
		I) 農地, 都市の不均衡の是正 II) 農業後継者の育成 III) 土地税制, 都市計画の再検討 (地価の科学的評価, 都市内農地の保護)	
	B 発生負荷原単位の低減	I) 作物の選択 II) 化学肥料の低減	労働に見合う報酬。 都市文明のあり方を反省する必要がある。 リサイクルの担い手として、環境モニタリングとして大切に。農地の公共性。
		I) 家畜糞尿, 堆肥の利用 II) し尿処理汚泥, 下水処理汚泥の利用 III) 産業排水処理汚泥, 食品工業廃棄物の利用	
4 畜産	C 排出率の低減策	I) 緩効性肥料 II) 有機質肥料	ハウス農業の見直しなど消費者の正しい選択 若い労働力が必要である。 若い労働力が必要である。 肥効性にすぐれ、有害物質の混入がないことが前提条件である。
		I) 施肥時期と水管理改善 II) 全層施肥, 深耕法	
	D 汚染率の低減策	I) かけ流し方式をやめる。 II) 農業用水の反復利用	肥料の排出率の調査の積み重ねが必要である。
		I) 用排水分離方式の再検討 II) 施肥時期の調整	
	A 家畜数の制限と集中抑制	I) ため池, 空地等の利用 II) 休耕田, 荒廃田の評価	内部生産のため COD の流出もかなりありと考えられる。
		I) 食生活の量より質への転換 II) 多頭羽飼育の再検討 III) 水源地等での立地規制	
	B 発生負荷原単位の低減策	I) 適正給餌, 分留まりの向上 II) 粗飼料の使用 III) 有機廃棄物の有効利用	小規模畜産の見直し 適正な処理費を消費者が負担する。 糞尿を還元できる農地があること。
		I) 適正給餌, 分留まりの向上 II) 粗飼料の使用 III) 有機廃棄物の有効利用	

資料 11 富栄養化制御対策のフレーム ( つづき )

7

対象	対 策	具 体 策	備 考
4 畜産 業 ( つづき )	C 排出率の 低減策	畜舎の構造改 善と管理方法 の改良	I) 糞尿分離 II) 水洗化の抑制 III) しきわらによるきゅう肥 の製造 昭和50年代に入って見直しが行われた。
		農地還元 徹底	I) 農地の確保 II) 農薬との連携 III) 流通システムの整備 家畜糞についてはほぼ軌道に 乗りつつある。
	D 流通率の 低減策	排水処理の 効率化	I) 自浄作用の活用 II) 農地還元を基本にすえる。 盛地から遊離した多量化経営 の場合は適正な処理費をかける 必要があり、消費者は応分の 負担の必要がある。
			I) 放流水の農地、草地等へ の処分 II) たため池、空地の利用 III) 山間、郊外への移転 盛地から遊離した多量化経営 の場合は適正な処理費をかける 必要があり、消費者は応分の 負担の必要がある。
5 淡水養 殖	A 飼養尾数の制限	I) 立地規制 II) コイ、ウナギ等の飼養尾 数の制限	悪臭公害、美観上の理由から 各地で移転が進められた。 浜名湖、駿ヶ浦などではかな りの汚濁源となっている。
		B, C 発生・排出負荷原単位	
	D 魚場環境の改善	I) 適正給餌、施肥の抑制 II) 歩留まりの向上 III) 過密養殖の抑制	
		I) 底泥のしゅんせつ II) 池の干し上げ III) 池のエアレーションによ る低酸素化の防止	
6 山林お よび自然 性負荷	B, C 山林流出負荷原単位の 低減	I) 山林等自然の保全 II) 乱開発の抑制 III) 里山の維持管理 IV) 森林伐採の抑制 V) ゴルフ場、保養施設の規制 VI) 大気汚染の防止 VII) 肥料林業の抑制	降雨時流出の評価、山林流出 負荷原単位の調査がさらに必 要である。
	C, D 自浄作用の保全	I) 河川の生態系保全 II) 河川構造物の生態系など への配慮	三面張り、ダムの流れ遅延への 影響や河川の自浄作用の定量的 評価が必要である。

資料 11 ( つづき )

8

対象	対 策	具 体 策	備 考
7 海域	E1 沿岸海面の保全	I) 河口感潮部、干潮の保全 II) なぎさ嶽 (砂浜・磯浜) の 保全 III) 浅海域、も場の保全 IV) 埋め立て等のアセスメン ト技術の確立	リクリエーションの場や、漁業 生産の場、あるいは浄化作用 の場としてのそれぞれの価値 を定量的評価する必要がある。 より本質的な環境影響評価の 方法が追求されなければならない
		E2 水産業の健全な育成	I) 漁業者の保護 II) 漁業権の科学的評価 III) 漁業補償の合理的運営 リサイクルの担い手、水質汚 濁のモニターとして大事業に する。 現行の補償は短期的に見ると 高すぎ、長期的に見ると低す ぎる。その使い方に問題が ある。
	E3 市民と海の接点の 確保	I) 入浜池の検討 II) 海水浴場の積極的保全 III) 遊歩道、つり場、港浜公園、 海の見える丘公園等の整 備 IV) 人工海浜、人工干潟によ る埋め立ての代償	行政の責務は大きい。 次代に生きたる子供の教育に重 要である。 市民自らが身近な水環境や海 の環境をどうするか、環境基 礎を考え設定していくことが 望ましい。
	E4 流況改善	I) 外洋水の導入 II) 埋め立て地形等の配慮	導水路の開削、導流堤の建設。 流況を悪化させない埋め立て、 浮体工法、防波堤の構造など。 好ましくはないが、現実的に やむをえない。
	E5 水域の区分利用	I) 水域用途区分による環境 管理 II) 汚濁海域の閉じこみまた は、積極的活用	好ましくはないが、現実的に やむをえない。 エビや貝の養殖、ノリや海藻 の養殖、バイオマスの回収な ど。
	E6 底質改善	I) ヘドロの除去 II) 埋め、覆土 III) 底土耕うん IV) 局所的エアレーション	恒久的な対策ではない。港湾 区域では船舶難破のため、経 常的に行われている。
	E7 漁業生態 の管理	I) 海面魚獲漁 業の適正化 II) 乱獲防止 III) 放苗、稚魚放流事業 IV) 適正給餌、肥料の抑制 V) 過密養殖の抑制 VI) 漁場改善 VII) 赤潮回避 VIII) 赤潮回収	水産物の水揚げは水質の安定 に寄与する。 養殖自体はバイオマス回収策 として奨励すべきである。 コスト面で非現実的。

1 現在の農業のあり方について																					
1-1 化学肥料、農薬依存型の現在の農業のあり方の見直しは必要ですか	a. 必要である。 b. 必要でない。																				
1-2 必要である理由として強い順に 3つ並べてください。	a. 地方がおちてきたように思う。 b. 農業で農民自身の健康に不安を感じる。 c. 国産により安全で美味しい食品を供給することを旨としたい。 d. その他(具体的に)																				
1-3 不必要である理由として強い順に 3つ並べてください。	a. 農作業が農業や肥料のお底で大変楽になった。 b. 極端な不労年もなく安定した食料生産ができる。 c. 兼業でもき経済的にも余裕ができる。 d. その他(具体的に)																				
2 都市近郊での農地の改竄についてどう思いますか。																					
a. 農村がそれにより便利になり、経済的にも潤うのだから、むしろ開発されるのを期待する。																					
b. 住宅や工業用地の開発に本来に必要なならやむをえないことだと思ふ。																					
c. 農業にとつて憂うべきことであり、土地税制などの再検討をして、はとめを考へるべきだ。																					
d. その他(具体的に)																					
3 し尿処理問題は各家庭からくみとったし尿を 30日間腐熟させ、さらに活性汚泥法で酸処理を行っています。その過程で出てくる消化汚泥や余剰の活性汚泥は下表に示すように肥料成分を含み、とくに消化汚泥は肥効性もすぐれています。																					
3-1 このような汚泥を肥料として利用することを奨励するお考えはありますか。	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>窒素あたり%</th> <th>リンあたり%</th> <th>窒素あたり%</th> <th>リンあたり%</th> </tr> <tr> <td>消化汚泥</td> <td>70</td> <td>1.6</td> <td>2.7</td> <td>5.3</td> </tr> <tr> <td>余剰汚泥</td> <td>85</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7.3</td> </tr> </table>		窒素あたり%	リンあたり%	窒素あたり%	リンあたり%	消化汚泥	70	1.6	2.7	5.3	余剰汚泥	85	0.9	1.1	6.2					7.3
	窒素あたり%	リンあたり%	窒素あたり%	リンあたり%																	
消化汚泥	70	1.6	2.7	5.3																	
余剰汚泥	85	0.9	1.1	6.2																	
				7.3																	
a. 奨励する気はない。																					
b. 経済的見合えば奨励するかもしれない。																					
c. 植物がない、肥効性があるなどの保証があれば奨める。																					
d. 農業のあり方から見て、色々の困難を排して使う方向にもっていくべきだ。																					
3-2 奨励しない理由として強い順に 3つ並べてください。	a. 都市でたものの処理の責任を農村がかぶるのはおかしい。 b. し尿は衛生処分を第一とすべきで、汚泥も衛生埋立や焼却によって処理するべきである。 c. 最近のことだからし尿といつても何が入っているかわからない。 d. 現在のままでもいいのではないかとと思う。 e. その他(具体的に)																				
4-1 1-1で「必要である」と考えられた場合、どのような対策が考えられるでしょうか。強い順に 3つ並べてください。	a. 農業の未来に希望のもてる農政 b. 後継者の育成 c. 化学肥料・農薬の使用低減 d. 化学肥料・農薬の改良 e. その他(具体的に)																				
4-2 今後の農政(農協事業)の重点目標を掲げてください。																					
5 解答者の年齢など	a. 20代 b. 30代 c. 40代 d. 50代 e. 60代以上																				

1 現在の農業のあり方について	
1-1 1-2, 1-3 資料12-1に同じ	
2 都市近郊での農地の改竄について 資料12-1に同じ	
3 下肥・堆肥・きゅう肥の使用について	
3-1 一般民家のくみとりのりはいくつごろからやめましたか。	a. 昭和25年以前 b. 25~30 c. 30~35 d. 35~40 e. 40~45 f. 45~50
3-2 あなたの御家庭のし尿の処分方法は	a. 田畑に入れる。 b. 田畑などに入れているが、できれば市や町にくみとってもらいたい。 c. 水洗便所で浄化槽をつけている。 d. 水洗便所で下水道に入る。 e. その他
3-3 堆肥・きゅう肥を使用していますか	a. 普通通り使用している。 b. 量は減ったが使用している。 c. 使用している。
3-4 堆肥・きゅう肥の使用はいつごろからやめましたか。	a. 昭和25年以前 b. 25~30 c. 30~35 d. 35~40 e. 40~45 f. 45~50
3-5 現在でも続けている。	a. 下肥または堆肥・きゅう肥の使用をやめられた理由を強い順に4つならべて下さい。 b. 化学肥料の方が衛生的で扱いやすかったから c. 化学肥料の方が肥効性がすぐれていたから d. 家畜が居なくなつたから e. 農協などのすずめがあったから f. 周辺の苦情があったから g. その他(具体的に)
4 し尿処理汚泥の肥料利用について 資料12-1に同じ	
4-1 このような汚泥を肥料として利用することについて、どのようにお考えですか。	a. 使わない b. 経済的に見合えば使ってもよい c. 植物がなく、肥効性が保証されれば使ってもよい。 d. 農業のあり方からみて色々の困難を排して使う方向にもっていくべきだ
4-2 使わない理由	資料12-1に同じ
5 あなたの御家庭の農業としての将来について、どのようにお考えですか。	
a. 明るい b. やや明るい c. やや暗い d. 暗い	
6 最後におあなたの年齢層などについてお答え下さい。	
6-1 あなたの年齢は	a. 20代 b. 30代 c. 40代 d. 50代 e. 60代 f. 70代以上
6-2 専業・兼業の別	a. 専業 b. 第一種兼業 c. 第二種兼業
6-3 経営規模について	田 ( ) ha, 畑 ( ) ha, 果樹園など ( ) ha 牛 ( ) 頭, 豚 ( ) 頭, にわとり ( ) 羽
7 御意見欄	